

ISSN 0286-3391

茨城工業高等専門学校
研 究 彙 報

第 4 4 号

平成 2 1 年 3 月

RESEARCH REPORTS
OF
IBARAKI NATIONAL
COLLEGE OF TECHNOLOGY

NO. 44
MARCH 2009

茨城工業高等専門学校

茨城工業高等専門学校研究彙報 第44号

目 次

- 1 何が帰納懐疑論を発生させるのか —メラー「帰納の保証」について 神山 和好 (1)
- 2 高等専門学校におけるタスクを中心とした英語教育の可能性
—ニーズ分析に基づくタスクの開発— 杉浦 理恵 (7)
- 3 オーストラリア語学研修時の環境測定 奥山 慶洋・森脇 滉・飯嶋 竜司・目時 彩加 (17)
- 4 茨城工業高等専門学校における海外短期語学研修の言語学的教育効果検証
—2年間のデータ分析から— 大塚 賢一 (23)
- 5 化学気相輸送法で作製した β -FeSi₂ 単結晶の光学特性 原 嘉昭・中岡 鑑一郎 (31)
- 6 金属及びセラミック系超伝導体に関する一般的熱伝導率モデルの研究 根本 栄治 (35)
- 7 全反射エバネッセント光の FDTD 解析 青木 克仁・若松 孝 (41)
- 8 水素貯蔵材料の循環利用を目指したホウ素酸化物の超臨界接触還元法の試み 斎藤 保夫・吉崎 敦浩 (47)
- 9 『十訓抄』の登場人物 —説話集分類の視点から— 平本 留理 (62)
- 10 文部科学省科学研究費補助金採択研究 (平成20年度) (63)
- 11 文部科学省原子力研究環境整備補助金採択事業 (平成19・20年度) (63)
- 12 外部資金受入による共同研究・受託研究 (平成19年度) (64)
- 13 教員事績 (平成19年10月～平成20年9月) (65)
- 14 専攻科特別研究題目一覧表 (平成19年度) (78)
- 15 卒業研究題目一覧表 (平成19年度) (79)

何が帰納懐疑論を発生させるのか—メラー「帰納の保証」について

神山 和好

What Causes Inductive Skepticism? —On Mellor’s “*The Warrant of Induction*”

Kazuyoshi KAMIYAMA

Abstract: D.H.Mellor proposes a new solution to the Humean problem of induction in his inaugural lecture of Cambridge University (“*The Warrant of Induction*” 1988). Taking an externalist position, he claims that induction is “warranted.” In this paper, I will criticize his solution and propose a different one, claiming that the problem of induction does not result from *the KK thesis* (or the ‘we know what we know’ thesis) but rather from Fumerton(1995)’s “Principle of Inferential Justification” or something like it.

1. はじめに

われわれは眼で見て確かめたことを、あるいは手で触れて確認したことを基礎に、世界の仕組みについて知ろうとする。このように、知覚経験こそが(直接、意識の対象となる内的世界を超えた外部)世界に関するわれわれの知識の基礎である、と考えるのが経験主義(*empiricism*)である(そうでなく、外部世界についての知識で、知覚経験に基づかないものがある、とするのが合理主義(*rationalism*))。経験主義は、われわれの常識や科学の基礎を成す哲学であるとも言える。経験主義によれば、経験に従うのが合理的であり、そうでないのが非合理的である。この合理性の基準により、たとえば占星術は非合理的なものとして排除される。

経験主義の哲学に疑問を投げかけた経験主義者がいる。18世紀スコットランドの哲学者デービッド・ヒュームである。彼の名高い論証によれば、世界に関する知識は、知覚経験を基礎に帰納(これまで成立してきたことは、大方未来においても成り立つ、とする推想法)を用いてえられる。ところが、帰納は自分自身を前提することなしには正当化されない。帰納が正当化されない以上、(知覚経験を越えた)世界に関するいかなる知識も正当化されない(『人性論』1739-40)。この議論が正しければ、明日も太陽が昇るかどうかは保証の限りではない。この結論からいかに逃れるか、という問題が「帰納の問題」(*the problem of induction*)である。

帰納を正当化することにより問題を解決しようとする試みは多い。D.H.メラーのケンブリッジ大学教授就任講義「帰納の保証」(*The Warrant of Induction*, Cambridge University Press, 1988 ; URL=<<http://www.dspace.cam.ac.uk/bitstream/1810/3475/1/Inaugural.html>>)もそのひとつである。メラーの解決は、2点において興味深い。ドレツキー(Dretke,1970)やノージック(Nozick,1981)の仕事を通じて知識の分析において近年ポピュラーな外在主義(*externalism*)

—信念に保証を与えるのはその信念を引き起こした客観的事実の存在で、それが主体により自覚されているか否かは関係ないとする—の立場からの帰納の正当化である点がひとつ。いまひとつは、メラーが、帰納の問題の源は、信念が保証されているためには保証されていること自身保証されていなければならない、という自己告知性の要求(*self-intimating requirement*)あるいは(その知識バージョンである)人があることを知っているならば、彼はそのように知っていること自身を知っている、というKKテーゼ(*the KK thesis*)にある、という指摘を行っている点である。

メラーの解決にはコーエン(Cohen, 1989a, 1989b)による批判がある。コーエンの批判は、もっぱら外在主義の立場からの解決の適切性に向けられており、自己告知性の要求(あるいはKKテーゼ)が帰納に関する懐疑論の発生源であるという論点については言及がない。帰納の問題に対する外在主義的解決の妥当性もそうだが、帰納懐疑論の発生源は自己告知性の要求(KKテーゼ)にあるという指摘は興味ある論点であり、検討に値すると思われる。⁽¹⁾ 以下、あらためてメラーの解決をとりあげる。その検証を通して、いかなる要求が帰納懐疑論を発生させるのか、帰納懐疑論をどのように受けとめればよいのか、という問題について考察する。⁽²⁾

2. メラー「帰納の保証」

「帰納の保証」は、メラーらしいウィットの効いた講義ではあるが、まとめにくいと思っていたところ、よい要約があった。次はコーエン(Cohen, 1989a)による要約である。⁽³⁾

あることを知ることとは、そのことについて真で、保証された信念をもつことである、と仮定しよう。あなたが正常な視覚をもち、天気の良い日中、赤い葉にとまった緑色のカエルを見ているとする。見るのが原因となって

あなたはそのカエルの色についての信念をもつ。この状況でああなたの信念が真であるチャンスはきわめて高い。そして、その信念が実際真であったと仮定しよう。つまり、「そのカエルは緑色だ」という（真な）信念をあなたはもつ。このとき、あなたの観察がその信念を保証している、とメラーはいう。知識と保証された真な信念に関するメラーの仮定によると、このとき「そのカエルが緑色である」ことをあなたは知っている、ということになる。

しかし、とメラーは続ける。そのカエルは緑色だということあなたの信念を保証するものの一部は、あなたが赤—緑色盲ではないことであるのにちがいはないが、（色盲について一度も聞いたことがなくて）色盲ではないとあなたが信じてなくてもかまわない。あなたが自分の色盲について何の信念ももたないことは、あなたが目に見えるカエルが緑色であることをあなたが知っていることを妨げない。だから、そのカエルが緑色であることに対するあなたの保証は自己告知的（*self-intimating*）でなくてはならない（つまり、その保証自身保証されていなくてはならない）とはなりえない。そう知っていること自身を知ることなく、あるものが緑色であることをあなたが知ることができるのでなければならない（Mellor, 1988, p.15）。

メラーは、知覚に由来する信念と帰納によりえられる信念とのアナロジーを展開する。あなたが目に見えるカエルが緑色であればあるほど、また、それら緑色のカエルが多様であればあるほど、他のカエルも緑色だろうとあなたが予測する傾向は高まる。前提が真のときに結論も真である十分な高いチャンスがあるならば、その推論の習慣は保証される。次のカエルも緑色だろうと予測するあなたの帰納的傾向を保証するのは、すべての（もしくは、ほとんどすべての）カエルは緑色であるという法則（もしくは統計的傾向）である。

一匹のカエルが緑色であるというあなたの信念が、あなたがそれを見てとることにより保証されるのと同様に、したがって、「信念を真とする事実はその信念をあなたの中に生じさせたもの」（*ibid.* p.18）であるのと全く同様に、次のカエルは緑色だろうというあなたの帰納的予測は、すべてのカエルは緑色であるという法則により保証される。なぜなら、あなたのその習慣を引き起こしたのはこの法則の存在であるから。そして、目の前のカエルは緑色だということを知ることにに対するあなたの保証が自己告知的である必要はないのと同様に、カエルの色に関するあなたの帰納的予測も自己告知的である必要はない。（自己告知的であるためには、法則を知る必要があるが）「法則を知ることなくカエルが緑色であることを帰納により知ることができる。これはちょうど、色盲ではないこと知ることなくカエルが緑色であることを、それを見ることによって知ることと全く同じである」（*ibid.* p.22）。メラーによれば、観察可能な諸性質をつなぐ法則により帰納は保証される。⁽⁴⁾

3. コーエンの批判

メラーの議論は「帰納の帰納的正当化」（*inductive justification of induction*）の一つとされる（彼のホームページにおいてもそのような説明がなされている：URL = <<http://sms.csx.cam.ac.uk/media/19261>>）。たしかに帰納的法則を前提した上での帰納の正当化だから、その理解はあやまりではない。

帰納の帰納的正当化に対する標準的反応は、論点先取（循環論法）ではないか、という批判である。帰納の正当化が求められているにもかかわらず、当の求められている帰納の正当性を前提している、これは論点先取ないし循環論法だ、というわけである。

メラーは、帰納的法則が個々の帰納的推測を保証する、それで十分である、帰納的法則自身に対する保証は必要ない、と主張する。なぜそう主張できるのか。それは、彼が保証や知識について外在主義（*externalism*）の立場をとっているからである。先に述べたように、外在主義では、信念に保証を与えるのはその信念を引き起こした客観的事実の存在で、それが主体により自覚されているか否かは関係ないとする（これに対し、主体により自覚されていることが不可欠であるとする立場が「内在主義」（*internalism*）である）。

当然のことながら、外在主義の説得力が問題になる。コーエン(Cohen, 1989b)が批判するのもその点である。次は、メラーによる応答（Mellor, 1989）を読んだコーエンの再反論である。

（メラーの論文を読む限り）車を運転するとき、メラーは自分の信念に基づき行動する用意があるはずだ、たとえそれに対する根拠が見出せないとしても。（メラーの住んでいる—筆者注）ケンブリッジのドライバーはそのことに注意したほうがいい。というのも、これは潜在的に危険な状況だからだ（メラーは自分で根拠を言えない信念に基づき運転する）。

疑いもなく、メラーの信念の大部分は関連する事実によって引き起こされている。しかし、われわれはみなときに間違いを犯す。そして、間違いの危険性を最小化すべくわれわれは努力する。だから憂慮されるのは、行動にかかわる信念について何らかの理由をもつべきだということは重要ではない、とメラーが考えている点だ。

ふつうのドライバーは異なる。責任あるドライバーは根拠のない信念にもとづき行為することを避けようと努めるものだ。「なぜ他の車が止まっていると信じたのか」と法廷で後に尋ねられたとき、答えられなかったとしたら彼は間抜けだろう。

知覚的信念について言えることは帰納的信念についても言える。薬を処方する医師は、その薬が患者の容態を改善するという信念に対しいくつかの根拠があると信じていることが期待される。「あなたが処方した薬が効くとどうしてあなたは信じたのですか」と聞かれて、答えられなかつ

たとしたら、その医師はかなり馬鹿にみえるだろう。

自己告知的ではない保証をもつ信念は、生活の役に立たない。ある信念が間違っているという危険があることに気づいている責任ある行為者はふつう、そのような信念に基づいて行為することはない。メラーは、懐疑論者が望むようなタイプの保証を帰納に与えていない。

4. 自己告知性の要求 (KKテーゼ) と推論的正当化原理

このような批判に対しメラーが用意しているのが、自己告知性の要求 (*self-intimating requirement*) に対する批判である。

メラーは、多くの人々は、信念が保証されているためには保証されていること自身保証されていなければならない、という自己告知性の要求を受け入れている、そこで、帰納的法則が個々の帰納を保証しているにもかかわらず、保証の保証を求めて、帰納的法則自身の保証を要求することになるのだ、しかし、この要求は帰納の保証を達成不可能にする、と指摘し、次のように述べる：「すべてのカエルは緑色である」という法則が、これまで見たカエルはすべて緑色をしていたから、次に見るカエルも緑色だろうという推論を保証する。自己告知性を要求すれば、この保証そのものが保証されていなければならない。そのためには何が必要か。それは、「すべてのカエルは緑色である」というような法則が保証されていることである。しかし、「すべてのカエルは緑色である」という法則はこれから行おうとしている「これまで見たカエルはすべて緑色をしていたから、次に見るカエルも緑色だろう」という推論を含意する、したがって、後者が先に保証されていない限り法則に対する保証もえられない。これは循環。したがって、法則は保証されない。すると、帰納的推論も保証されない (Mellor, 1988, §5)。

(メラー自身が仮定している立場であるが) 真な信念に、「保証された」という条件が満足されたものが知識であるとする、信念が保証されているためには保証されていること自身保証されていなければならない、という自己告知性の要求は、信念の真理性に対する若干の要請のもとで、ある事柄を知っているためには、そのように知っていること自身知っていなければならない、といういわゆる「KKテーゼ」 (*the KK thesis or the 'we know what we know' thesis*) と同じである。帰納の問題の根にKKテーゼがある、それを否定することにより問題は解かれる、というのがメラーのアイデアである。

メラーによれば、KKテーゼは達成不可能かつ効果的でない。それが要求する保証の無限上昇系列は不可能であるし、高階の保証が得られたからと言って、信念が真であるチャンスが増えるわけではない (しかも、上で述べたように、このテーゼは帰納の問題を解決不能にする)。したがって、それを満たさないということは観察や帰納に対する異議にはならない。しかし、「そのようにひどい帰結にも

かかわらず、このテーゼはなお奇妙に魅力的である。なぜ魅力的かは私にはよくわからない。推測するに、われわれが自分たちを自己意識的存在であるとおおえていて、KKテーゼを要求したいのではないか。だが、それは不必要で、実際使われてもいない。この自覚により帰納の問題は解ける」 (ibid. §5)

メラーはここで、「帰納的法則が個々の帰納的推測を保証する」こと自身保証されていなければならないと要求するならば (自己告知性の要求)、帰納的法則自身保証されなければならないことになる、と指摘している。しかし、「帰納的法則が個々の帰納的推測を保証する」こと自身保証されていなければならないと要求するならば、帰納的法則自身保証されなければならないことになる、というのは本当だろうか。自己告知性の要求は、個々の帰納的推測を保証する帰納的法則が保証されなければならない、ことを含意するだろうか。メラーは実際そうだ、自己告知性の要求が帰納懐疑論の源であり、それを拒否することにより懐疑論を回避できる、と主張している。

「帰納的法則が個々の帰納的推測を保証する」こと自身保証されていなければならないと要求するならば、帰納的法則自身保証されなければならない、というのは自明ではない、と私は思う。AがBを保証する、というのがメラーの保証概念であるから、「帰納的法則 (A) が個々の帰納的推測 (B) を保証する」 (これをCとしよう) こと自身保証されていなければならないとすれば、別のDがあってDがCを保証しなければならぬことにはなるが、必ずしも、Aが別のA' により保証されなければならない、ということにはならない。

自己告知性の要求あるいはKKテーゼは、完全な自己意識 (意識の透徹性) を要請する要求である。ヒューム流の帰納懐疑論の源がこの要請であるというメラーの主張は間違っていると私は思う。メラーが、自己告知性の要請を拒否することを通して拒否しようとしているのは、「ある信念 (あるいは命題) Hが別の信念 (命題) Eにより保証されるならば、E自身保証されなければならない」という要請である。コーエンとの間で争われているのも、この原理である。メラーは、E自身の保証は必要ないと主張し、コーエンは必要だ、と指摘している。結局、メラーの基準を与えているのは、帰納的推論の「条件付き保証」 (*contingent warrant*) にすぎず、保証そのものではない。(条件付きでない) 保証を与えようとするならば、根拠そのものの保証が必要である、というのがコーエンのメラー批判である。

「ある信念Hが別の信念Eにより保証されるならば、E自身保証されなければならない」という要請は、R. フォーモトン (Fumerton, 1995) が「推論的正当化原理」 (*Principle of Inferential Justification*) と呼んだものの一部である。⁶⁾ 以下、この要請そのものを「推論的正当化原理」と呼ぶことにしよう。私の考えでは、帰納懐疑論の発生源は、KKテーゼではなく推論的正当化原理である。

推論的正当化原理は次のように帰納の問題を生む。

推論的正当化原理を認めると、任意の経験的信念の正当化（これまでもそうだったが、「正当化」と「保証」を交換可能な語として使用する）系列は、

- (1) エンドレス（無限遡行）
- (2) どこかで停止
- (3) 循環

のいずれかになる。

論証を見ていると、ヒュームは、(3)の場合、正当化は成立せず、暗黙のうちに(1)の場合も正当化は成立せず、したがって正当化が可能であるとすれば(2)の場合に限る、と考えていたようだ（ヒュームの論証については Ayer(1972, § 1)あるいは神山(2007, § 1)を参照）。

(2)の場合、

- (a) 停止命題がそれ自身で正当化される
- (b) 停止命題がそれ自身で正当化されない

のいずれかが成り立つ。

(b)の場合、基礎にある信念が正当化されない以上、それにより正当化されるはじめの信念も正当化されない。

残るは、(a)の場合。停止命題としてヒュームが持ち出したのは「自然の斉一性原理 (*the principle of the uniformity of nature*)」(すなわち、「これまで経験したことのない事例は経験済みの事例と似ているにちがいない、そして、自然の過程はつねに一様である」(Hume, 1972, book 1, § 6))である。それ自身で正当化されるように見えるかもしれないが、実際それは正当化されない。循環を犯せば正当化されるが、循環は正当化を達成しない、という見地からその正当化は却下される（(a)という場合は、実際には存在しない）。

結論：任意の経験的信念は正当化されない。

メラーは外在主義の立場に立って自己告知性の要求を拒否することによって、推論的正当化原理を否定する。これに対し、推論的正当化原理の否定は、日常的観点からみても明らかに直観に反する、と指摘しているのがコーエンである。私はコーエンに分があると思う。メラーの議論を与えているのは、帰納的推論の条件付き保証—帰納的法則が正しかった場合得られる保証—にすぎない。帰納的推論の保証そのものではない。その保証を与えようとするならば、根拠そのものの保証が必要である。しかし、このように考えた場合、帰納の問題は解決されずに残ってしまう。

帰納の問題は信念の正当化の問題である。それは、証拠や理由に関わる内在主義の問題圏で発生する問題であり、その外に出て問題を解決しようとする外在主義のアプローチは的外れであると思う。⁽⁶⁾

5. われわれがもつのは「過去の保証」のみである

推論的正当化原理についてあらためて考えてみよう。人間の抱く信念は高々有限個だからエンドレスというケースは実際はないだろう。すると、あるのは循環か、それ自身もはや保証のない信念で停止のケースということになる。循環は保証を構成しないとヒュームは考えていたから、ヒュームの議論で実際に扱われているのは最後の(b)のケース、つまり正当化のない信念で停止するケースである。循環を認める斉合主義者 (*coherentist*) —彼らによれば、われわれの信念体系に基礎となる信念など存在しない、信念体系にとって肝要なのは、それに属する信念相互の斉合性である—以外の人々は、もし帰納の正当化にチャンスがあるとすれば、ヒュームが扱ったこのケースと考えることになる。

多くの人々が、（推論的正当化原理を受け入れた場合導かれるようにみえる）すべての経験的信念の底に保証のない信念が存在するという可能性に不安をもった。その信念が何であるかは議論があるところだろうが、ヒュームに従い、かりにそれを自然の斉一性原理であるとしよう。つまり、「未来の宇宙は過去の宇宙に似ている」あるいは（たとえば）自然科学の諸法則が成り立つような斉一性を宇宙はもっている、という主張であるとしよう。議論の筋からすると、たとえば次に見るカエルは緑色だという推測は最終的にはこの原理により保証を受ける。それでは、懐疑論が言うように、自然の斉一性原理は何も保証をもたないのだろうか。⁽⁷⁾

次のように考えることもできる。次に見るカエルは緑色だという推測が的中したとして、その推測の成功により自然の斉一性原理は保証を受ける。すなわち、ここには相互支持が成立している：個々の帰納推論は自然の斉一性原理により保証されるし、自然の斉一性原理は個々の帰納推論の成功により保証される。現在までに限れば、自然の斉一性原理はこれまで自らが保証を与えた多くの信念の成功により保証を受けている。⁽⁸⁾

ここに循環があるだろうか。よく保証された信念（より一般的な言い方をすれば、よくテストされた信念）は成功するチャンスが高い、というのは帰納的信念、つまり自然の斉一性により正当化される信念だから、ここでいう保証が高いチャンスをもたらす、とは言えない。もしそれを主張すると、循環論法となる。しかし、この保証に循環論法でない解釈を与えることができる。

それは過去の保証という保証である。ここで、「過去の保証」とはさまざまな成功によりこれまで保証を受けてきたという事実をさす。⁽⁹⁾ 過去の保証をもつならば、自然の斉一性原理は無保証ということではない。したがって、それが無保証だから、任意の経験的信念は無保証だ、という懐疑論的結論は導かれない。

過去の保証以上の保証を求める強い心理がわれわれにはある（帰納懐疑論にわれわれを誘うのは、最終的にはこの心理であろう）。しかし、それを与えるのは、いまここで

保証を与えようとしている自然斉一性原理である。自然斉一性原理を前提すれば、われわれは未来の宇宙がこれまでの宇宙と変わらない（あるいは、そのチャンスは高い）ことを主張することができる。

自然の斉一性原理そのものが過去の保証をもつだけなのだから、それを基礎に置くすべての経験的信念は、結局は過去の保証をもつだけだ、と言ってもよからう（これを主張する点において懐疑論は正しい）。しかし、無保証とは違う。

つまり、推論的正当化原理を受け入れた場合でも、われわれの経験的信念は保証を一切持たないという懐疑論者の結論を避けることができる。

推論的正当化原理から懐疑的結論を導くに際してある種のトリックがあるように思える。ある信念が別の信念により正当化されるためには、別の信念自身正当化されていないなければならない、と要求する推論的正当化原理は、「正当化」についての一つの要請であり、(そのようなことが可能であるとして)正当化を十全に定義したものではない。次見るカエルは緑色だろうという信念は、すべてのカエルは緑色だという信念により正当化される、というところから懐疑論的論証ははじまるが、ここでの正当化は妥当化(validation)—ある命題が他の命題を論理的に含意することの証明—である。ここから、以後も議論を妥当化として読むように説得される。その議論の結論が、帰納的信念は妥当化されない、ならば問題はない。それは当たり前のことである（それは分析的真理ではない）。それは正当化されえない、と読まれるから問題がある。「帰納的信念は妥当化されない」だけなら、われわれの認識論的信念はほとんど傷つかない。それが「帰納的信念は正当化されない」と読まされるから大いに傷つく。上で述べたように、後者のように読む必要はない。⁽¹⁰⁾

注

- (1) メラーはヒューム流の帰納懐疑論について論じているが、サッピ(Suppe,1989)が、帰納懐疑論を含む懐疑論全般について、それらがKKテーゼに本質的に依拠している、という主張を行っている。KKテーゼを捨てれば懐疑論は解消される、というのがサッピの主張である。伊勢田(2002)にサッピ批判がある。KKテーゼを捨てただけでは懐疑論は解消されない、KKテーゼを弱めた、かつ認識論の成立のために必須なテーゼ（彼の言う「PEHKKテーゼ」）の下で懐疑論が成立することが指摘されている。本稿では、帰納懐疑論の基礎にあるのはKKテーゼやその変種ではなく、「推論的正当化原理」であることを指摘する。なお、KKテーゼは認識論理(epistemic logic)の基本公理の一つ（たとえば「S4」の公理の一つ）である。認識論におけるKKテーゼの初期の代表的支持者はヒントッカ(Hintikka, 1962)である。ヒントッカとKKテーゼをめぐる議論については、伊勢田(2002)第2節を参照。
- (2) M.ウィリアムスが「懐疑論的議論に対し、それは受

け入れられないと言っただけでは不十分である。どこが間違っているのか、にもかかわらずどうしてそう誘惑的なのか、を知りたいのだ」と述べている(Williams, 2001, p.67)。私は前著で、帰納懐疑論について「どこが間違っているのか」について論じた(神山 2003)。しかし、それが「にもかかわらずどうしてそう誘惑的なのか」については論じる余裕がなかった。メラーを検討することを通してこの不足を補う、というのが、本稿のいまひとつの動機である。

(3) コーエンはメラーの批判者であるが、この要約を読んでメラーはとくに異論を唱えていないから、メラーの要約として挙げて問題ないだろう。

(4) 「保証」(warrant)は、A. プランティンガが、知識(knowledge)と「真な信念」(true belief)との違いを説明する概念として分析し、注目を集めた(Plantinga, 1993a, 1993b)。保証にとって決定的なのは、「適切な認知環境において(認知者の)認知諸能力が適切に機能していること」であると、プランティンガ自身は主張している。プランティンガは、そのように機能していることが認知者に知られていることを要求していない。すなわち、彼の「保証」は外在主義的概念である。

(5) フマー-tonの推論的正当化原理は次である(Fumerton, 1995, p.36)。

命題Eを基礎に命題Hを信じるのが正当化されるためには、

- 1) Eを信じるのが正当化されなくてはならない、かつ
- 2) EがHを確からしくすると信じるのが正当化されなくてはならない。

簡単のため、ここではEがHを含意する場合だけ扱っているから、2)はカットしている。

(6) 同様の指摘はWilliams(2001)やPritchard(2002)にある。

(7) 神山(2003)において私は、自然斉一性原理が保証をもたない(正当化されない)ことを認めたとしても、それに基礎を置く経験的信念は正当化されない、ということを受け入れる必然性はない、と論じることにより懐疑論の信管をはずそうとした。それに対しては、そうは言っても、「自然斉一性原理が保証をもたなければ(正当化されなければ)、それに基礎を置く経験的信念は正当化されない」は根強い直観的説得力をもっているのではないか、という異論の可能性がある。ここでは、自然斉一性原理が保証をもたないこと自身を問題にしている。もしここでの批判が正しければ、かりに「自然斉一性原理が保証をもたなければ(正当化されなければ)、それに基礎を置く経験的信念は正当化されない」を認めたからといって、懐疑論まで受け入れる必要はない、ことになる。

(8) N.グッドマンが、帰納の正当化について、演繹の正当化をモデルに、次のように述べている：個々の帰納的推理は一般的な帰納的規則との一致により正当化され、一般的帰納的規則も受容された帰納的推理との一致により正当

化される。つまり規則とそれ例は相互調整 (*double adjustment*)の結果それぞれ正当化される。ここには悪循環はない(Goodman, 1979, § 2)。

(9) ここで過去の保証は、確認理論(*confirmation theory*)で言う「確認」(*confirmation*)を意味しない。これまで成功してきたという事実をさすだけである。確認については、

1) 何が確認例か (ヘンペルのパラドクス), 2) 確認が与えられたとしても、それが特定の予測を行う理由になるのはなぜか (グッドマンのパラドクス), という未解決の問題がある (Swinburne, 1973)。

(10) 帰納の問題を「帰納的推理は妥当化されるか」と解釈して、それは偽問題(*pseudo problem*)である、と論じたのが、ストローソン(Strawson, 1952)である。

文献

- Ayer, A.J.(1972) : *Probability and Evidence*, London: Macmillan.
- Cohen L.J. (1989a): "Are Inductions Warranted?" *Analysis* 49, 1-4.
- (1989b): "What Use Are Beliefs That We Do Not Take To Be Warranted?" *Analysis* 49, 7-8.
- Dretske, F. I. (1970): "Epistemic Operators," *The Journal of Philosophy* 67, 1007-1023.
- Fumerton, R. (1995): *Metaepistemology and Skepticism*, Rowman & Littlefield Publishers.
- Goodman, N.(1979): *Fact, Fiction, and Forecast*, 3rd edition, Indianapolis:Hackett Publishing Company (1st ed., 1955). (N.グッドマン (雨宮民雄訳) 『事実・虚構・予言』勁草書房, 1987年)
- Hintikka, J. (1962): *Knowledge and Belief: An Introduction to the Logic of the Two Notions*, Ithaca: Cornell University Press.
- Hume, D. (1972): *A Treatise of Human Nature*, Everyman's Library (first published in 1739-40) (D.ヒューム (大槻春彦訳) 『人性論』, 岩波文庫, 1948-52年)
- 伊勢田 哲治(2002): 「KKテーゼと懐疑主義---知識の人間的可能性からの分析---」, 『情報文化研究』16号, 27-44. URL=<http://www.bun.kyoto-u.ac.jp/~tiseda/index_japanese.html>
- 神山 和好(2003): 「懐疑論者の不安—帰納の問題の解消主義的解決再論」, 『科学基礎論研究』第100号, 55-60.
- (2007): 「ヒュームの苦境は人間の苦境だろうか—A. J. エイヤー「ヒュームの遺産」覚書」, 『茨城工業高等専門学校研究彙報』第42号, 1-7.
- Mellor, D.H. (1988): *The Warrant of Induction*, Cambridge: Cambridge University Press.
- (1989): "Induction is Warranted," *Analysis* 49, 5-7.
- (1991): "The Warrant of Induction," Chapter 15 of *Matters of Metaphysics*, Cambridge: Cambridge University Press; URL=<<http://www.dspace.cam.ac.uk/bitstream/1810/3475/1/Inaugural.html>>
- Nozick,R.(1981): *Philosophical Explanations*, Cambridge, MA.: Harvard University Press.
- Plantinga, A. (1993a): *Warrant: The Current Debate*, Oxford: Oxford University Press.
- (1993b): *Warrant and Proper Function*, Oxford: Oxford University Press.
- Prichard, D. (2002): "Recent Work on Radical Skepticism," *American Philosophical Quarterly* 39, 215-57.
- Strawson, P.F. (1952): *Introduction to Logical Theory*, London: Methuen & Co Ltd. (P.F.ストローソン (常俊宗三郎他訳) 『論理の基礎〈上〉(下) —日常言語と形式論理学』法律文化社, 1974年)
- Suppe, F. (1989) *The Semantic Conception of Theories and Scientific Realism*. Chicago: University of Illinois Press.
- Swinburne, R. (1973): *Introduction to Confirmation Theory*, London: Methuen.
- Williams, M. (2001): *Problems of Knowledge: A Critical Introduction to Epistemology*, Oxford: Oxford University Press.

高等専門学校におけるタスクを中心とした英語教育の可能性¹

—ニーズ分析に基づくタスクの開発—

杉浦 理恵

A Study of Task-Based Language Teaching at a Technical College
- Designing Tasks Based on Learners' Needs -

Rie SUGIURA

Abstract: Tasks, if designed to meet learners' needs, should provide optimal conditions for the particular language learning environment. The purpose of this study is, first, to identify learners' needs for a technical college in an EFL context and then to propose the appropriate tasks. In order to conduct the needs analysis, students in a Japanese technical college ($n = 882$) were asked to answer a questionnaire concerning their reasons for studying English, what skills or knowledge they needed to improve, and what content and activities they wanted to work on in the class. The results indicated that over sixty percent of all the students gave the possibility of using English for business in the future as their reason. As for skills or knowledge to be improved, the results of the questionnaire also showed that listening and speaking skills and vocabulary knowledge were especially recognized to be insufficient for the students in both upper and lower grades. In addition, it was found that the students in upper grades (the fourth and fifth grades) showed more interest in content and activities related to the real world than did the students in the lower grades. Based on these results, it was proposed that the corresponding tasks to meet students' needs should be designed.

1. はじめに

コミュニケーション能力の育成を課題の1つとしている日本の英語教育において、学習者に応じて、効果的かつ効率的な指導方法と具体的な活動内容を検討し、その評価方法を確立することは急務である。特に高等専門学校（以下、高専）では、専門教育を中心に技術者育成を主眼としたカリキュラムが実施されており、英語教育においては、技術者として「使える英語」の養成が必要とされている（全国高等専門学校英語教育学会・高専英語教育に関する調査委員会, 2002）²。

第二言語習得理論研究（以下、SLA: Second Language Acquisition）の分野では、現実の社会で必要となる「タスク」を授業の中でシミュレーションとして取り組み、英語を実際に使用することにより、経験を通して言語使用を学ぶ機会を多く与えることが重要であるとされている。タスクを授業に取り入れ、効果的な指導を行うためには、学習者が将来、どのような場面で英語を使用したタスクを達成する必要があるのか、またそのようなタスクが可能となるために必要な知識・能力とはどのようなものであるかということを指導者が把握し、ニーズ（必要性）に見合ったタスクを実施しなければならない（Long, 2005）。

高専生は、電気、電子、コンピュータ等の専門科目を履

修しており、将来に対する具体的なイメージを持っている者が多い。このことから、高専生のニーズを把握し、専門教育や将来の仕事内容と英語学習の内容を関連付けたタスクや、その準備として必要な練習を授業に取り入れることで、英語学習への動機づけを高め、学習効果・効率を高めることも可能であると考えられる。

本研究では、高専における「タスクを中心とした英語教育」の可能性について先行研究の結果から検討する。さらに、高専生の英語学習のニーズをアンケート調査し、高専におけるタスクの試案を提案する。

2. 研究の背景

2.1 言語教育におけるタスクと理論的背景

SLA の分野では、タスクを中心とした指導が言語習得に有効であるとされている（Ellis, 2003）。「タスク」とは、例えば、「開発した新しいコンピュータソフトを海外で販売するための計画書を英語で作成し、発表する」などの現実の社会に即した「課題」であり、学習者はその課題を解決するために、（文法ではなく）メッセージの授受に重きを置いた言語活動を行うことになる。その際に、学習者は文法を含む既習の英語の知識を駆使しての言語使用が求められる。これにより、「静的な英語についての知識の集合体」が、現

実場面の中で「適切に使用される動的な技能」へと移行することになる（杉浦・高島, 2004）。現実の社会では、情報を交換したり、対立する意見を調整したりといった様々なタスクを遂行していかなければならない。高専生によっては、将来的に仕事で英語によるプレゼンテーションを行い、質疑応答を行う可能性もある。「英語を使えるようになる」ということは、すなわち、そのようなタスクを英語で遂行できる力をつけるということである。そのように考えれば、現実の社会で行われているタスクを教室内で擬似的に体験させることが重要であるといえる。

タスクの定義については、多くの研究者によって議論されている。その中で、本研究では、Ellis (2003) の定義する以下の4つの特徴を持つ活動をタスクとして捉えている。

- (1) 言語を使う目的がある
- (2) 意味内容の伝達が第一義である
- (3) 話し手間に、情報・考えなどの何らかの「差」がある
- (4) 学習者が自分で考えて、言語を「使う」

タスクが言語習得に効果的であるという考えの背景には、SLA、社会言語学、認知心理学の研究分野などでの議論があるが、代表的なものとしては、以下のようなものが挙げられる（高島, 2005, p. 5）

- (1) 意味のやりとり (negotiation of meaning) を行う中で、理解可能なインプット (comprehensible input) を得ることができる (Long, 1996)。
- (2) 意味のやりとりを行う中で、適切なフィードバックを得ることができる (Long, 1996)。
- (3) 既習の言語知識を実際に運用するアウトプットの機会を得ることができる。学習者は、実際に言語を使用することによって、知識の自動化 (automatization) を図り、言語体系の再構築 (restructuring) を行うことができる (McLaughlin, 1990)。
- (4) 他者と協力して課題を達成することにより、言語発達を促す (Swain, 1998)。

研究の背景によって、タスクを教室で実施する役割については多用な考え方があがるが、タスクには大きく2つの役割があるといえる。まず、1つ目は、タスクに取り組むことで学習者は、インプットを得たり、インターアクションやアウトプットの機会を得ることができ、その過程で言語習得における気づきを引き起こすことが可能となる (Ellis, 2003)。この場合、タスクを実施することで、新たな言語形式や意味、具体的な場面における言語の働きに気づくことになる。また、タスクを実施する中で、必要に応じて、教師が学習者の意識を言語形式（文の構造など）に注意を向

ける focus on form と呼ばれる指導を行うことも可能である (Doughty and Williams, 1998)。

2つ目のタスクの役割は、既存の知識を活性化させ、言語の自動化を図ることで流暢さを伸張するという役割である (McLaughlin, 1990)。実際のコミュニケーションで即座に使用できる力を育成するのである。

2.2 タスクの実践とその効果

タスクを中心とした指導は、Task-Based Language Teaching (以下、TBLT) と呼ばれており、オーストラリアのクイーンズランド州のある学校では、外国語学習に限らず、すべての教科でTBLTが実施されている（杉浦 他, 2003 参照）。また、ベルギーのフランダース地方では、第一、第二言語としてのオランダ語教育でTBLTを導入する事例があり、その実践例が報告されている (Gorp & Bogaert, 2006 参照)。

ただ、TBLTを長期的に実施した場合の効果も他の指導法との比較によって検証することはまだ十分には報告されていない。また、タスクに関する多くの先行研究は、英語を第二言語とするESL (English as a Second Language) の環境であったり、教室外でも目標言語の使用が必要な国で行われている場合が多い。そのため、日本のように英語を外国語として教育しているEFL (English as a Foreign Language) の環境で、タスクを中心とした指導を全面的に導入している事例は少ない。

しかしながら、タスクを実施することにより、特定の文法項目の定着に効果があったという実証研究はあり、注目に値する。例えば、Sugiura (2006) は高専の1年生を対象に指導実験を行い、タスクの実施が、時制と相（現在完了形と過去形）の理解を向上させたと報告している。

タスクをシラバスに取り入れる方法としては、Ellis (2003) が、タスクをシラバスの柱としたTBLTだけでなく、文法シラバスなどの中でタスクを補助的に使用したり、文法シラバスや機能シラバスとTBLTとを併用したりするTSLT (Task-Supported Language Teaching) が可能であると述べている。TSLTでは、日本の英語教育で実施されてきた文法シラバスやリーディングやライティング等のスキルに特化したシラバスと、タスクを中心としたシラバスを同時に展開することが可能であり、高島 (2005) は、日本の中学校、高等学校の英語教育でTSLTを導入することを提案している。

3. 調査

3.1 目的

タスクを効果的に実施するためには、学習者のニーズに応じたタスクの開発が必要である。また、ニーズは集団によって異なるものであり、各集団のニーズに応じたタスクが必要となる。そこで、高専生の英語学習に関するアンケ

ートを実施した。目的は、以下の2点である。

- (1) 高専生の英語学習のニーズをアンケート調査し、タスクを中心とした指導に必須とされるニーズ分析を行う。
- (2) 上記(1)のニーズ分析に基づき、高専生のニーズに応じたタスクの具体例を提案する。

3.2 ニーズ調査方法

3.2.1 参加者

高専の1~5年生各5クラスの学生を対象に、英語学習に関するアンケートを実施した。参加者は、合計882名(1年生212名、2年生190名、3年生192名、4年生144名、5年生144名)であった。

3.2.2 英語カリキュラムの現状

1~2年生は週5時間の英語授業があり、うち1時間をネイティブスピーカーが英会話を、残りの4時間を日本人教員が担当している。1~2年生の日本人教員の授業では、テキストを用いた文法指導、聞くこと、読むこと、話すこと、書くことの4技能を総合的に指導している。

3年生は週3時間の授業があり、うち1時間は、TOEICテストの対策のための授業が行われている。残りの時間では、テキストを用いた文法指導、英語の総合力養成のための授業が実施されている。さらに1~3年生については、平成20年度からOxford University PressのGraded Readersなどの読み物教材を用いて、多読の指導を行っている。

4年生、5年生の授業は、選択授業となっている。授業内容は、英語の総合力を養成するとともにTOEICテストや大学編入学試験のための対策を実施している。また、授業によっては、英語によるスピーチやディスカッションをさせるなど、タスクを取り入れた指導を実施している。

3.2.3 アンケート調査

アンケートの設問は6つで、多肢選択式で回答するものである(資料1参照)³。設問では以下の内容を質問し、各選択肢の中から3つ以内で選ぶよう指示した。回答時間は、10分間とした。

- 設問I. 実用英語検定試験(英検)の取得級
- 設問II. TOEICの得点
- 設問III. 英語が使えるようになりたい理由
- 設問IV. 不足している英語の能力や知識
- 設問V. 授業で取り上げてもらいたい内容
- 設問VI. 授業で取り組みたい活動

3.3 分析

各設問について、選択肢を選んだ学生の人数の割合を学年ごとにまとめたものが資料2の表1~表4である。また、以下に示す図1.~図4.は、1~3年生(以下、低学年)と4~5年生(以下、高学年)の回答人数をそれぞれ合計し、その割合をグラフで示している。

設問III「英語学習の理由」では、各学年とも「将来の仕事に必要」という選択肢を選んだ割合が最も高く、全学年での割合は61.2%に上る(資料2.の表1参照)。次に特徴的であるのは「海外旅行をするかもしれない」という理由であり、この選択肢を選んだ割合は低・高学年とも同様に約40%と高い(図1.参照)。一方、「資格試験の対策」や「専門科目の文献を読むのに必要」という回答については、低学年と高学年に相違があることが見て取れる。そこで各選択肢を選んだ人数と各学年の関連について、 χ^2 検定を行った結果、各学年の回答の傾向は有意であった($\chi^2(28)=50.41, p<.01$)。さらに残差分析を行った結果、1年生では「留学」、3年生では「英語圏の文化への興味」、4年生では「資格試験の対策」、5年生では「専門科目の文献の読解」の回答が有意に多いことが分かった。つまり、4年生、5年生と高学年になるにつれて、就職や進学に関する現実的な理由がより多く挙げられていることが分かる。

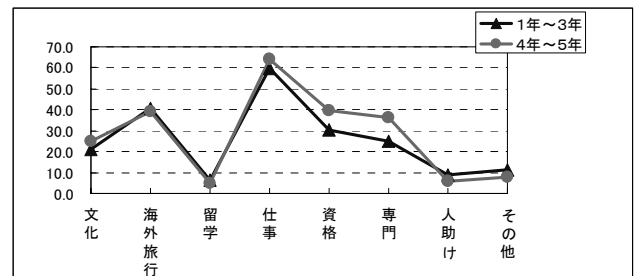


図1. 英語学習の理由(設問III)

設問IV「不足している英語能力・知識」では、回答として「単語」の不足を感じている学生が低・高学年ともに多いことが見受けられる(図2.参照)。また、低・高学年に共通して、4技能のうち「聞く力」、「話す力」が、「読む力」と比較して不足していると認識されている。一方、高学年と比較して特に低学年の1,2年生では、文法の知識が不足しているという回答が多く見受けられる(資料2の表2参照)。そこで各選択肢を選んだ人数と各学年の関連について、 χ^2 検定を行った結果、各学年の回答の傾向は有意であった($\chi^2(32)=74.55, p<.01$)。さらに残差分析を行った結果、1年生では「発音」「文法」、4年生では「聞く力」、5年生では「読む力」の回答が有意に多いことが示された。逆に回答が有意に少ないのは、1年生の「聞く力」「読む力」、「単語」、2年生の「話す力」、3年生の「文法」、4年生の「書く力」、「発音」であった。すなわち、1年生は他の学年と比較して、「聞く力」「読む力」、「単語」については、あまり不

足していると感じていないと言える。

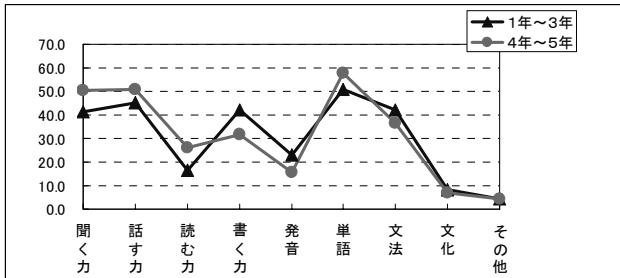


図 2. 不足している英語能力・知識 (設問IV)

由英作文」であった。

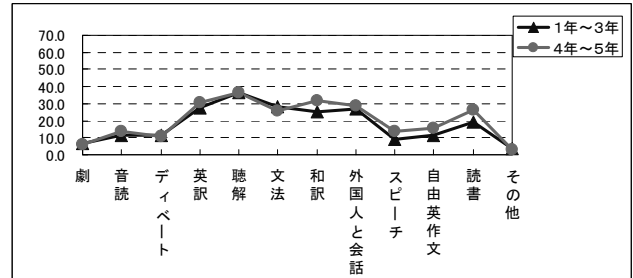


図 4. 授業で取り組みたい活動 (設問VI)

設問V「授業で学習したい内容」では、低・高学年とも「日常会話」という回答が最も多かった(図3.参照)。次に全体としては「資格試験のための対策」という回答が多く、高学年では低学年と比較して、「時事英語」や「ビジネス英語」を学びたいという回答が多くなっている。そこで各選択肢を選んだ人数と各学年の関連について、 χ^2 検定を行った結果、各学年の回答の傾向は有意であった($\chi^2(36)=54.05, p<.05$)。さらに残差分析を行った結果、2年生では「専門に関する英語」「資格対策の英語」が、5年生では「科学に関する英語」と「時事英語」の回答が有意に多いことが示された。逆に回答が有意に少ないものは、1年生の「時事英語」、5年生の「映画・音楽の英語」であった。つまり、1年生では「時事英語」を学習したいと回答している学生が少ない一方で、5年生では「時事英語」を学習したいと回答している学生が他学年と比較して多いことが分かる。

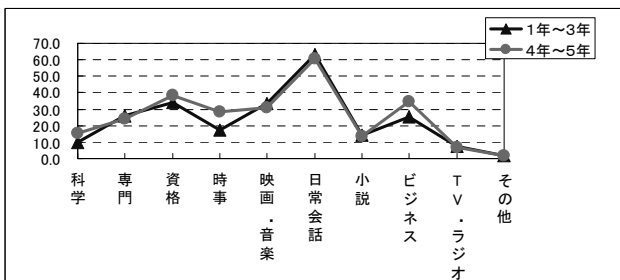


図 3. 授業で学習したい内容 (設問V)

設問VI「授業で取り組みたい活動」では、低・高学年とも「英語を聞いて、内容を理解する」と回答した割合が最も多かった(図4.参照)。一方、特に低学年では、スピーチやプレゼンテーション、劇、デイバートをするといった発信型の活動の回答が少なかった。そこで各選択肢を選んだ人数と各学年の関連について、 χ^2 検定を行った結果、各学年の回答の傾向は有意であった($\chi^2(44)=79.05, p<.01$)。さらに残差分析を行った結果、1年生では「文法」、2年生では「聴解」、3年生では「自由英作文」、4年生では「読書」、5年生では「スピーチ・プレゼンテーション」、「自由英作文」の回答が有意に多いことが示された。逆に回答が有意に少ないのは、1年生の「聴解」、2年生の「和訳」、4年生の「自

3.4 考察

全体の傾向を見ると、まず設問III「英語学習の理由」の分析結果からは、実際に英語を使用する場面を意識して英語学習に取り組んでいる者が特徴的であると考えられる。設問IV「不足している英語能力・知識」の結果で「単語」、「聞く力」、「話す力」が不足していると考えている者が顕著であると示されていることも、これと関連があると考えられる。しかし、この結果は、必ずしも「読む力」や「書く力」が十分に備わっているということではなく、口頭による即座のコミュニケーションに対応できないということがあるものと推察される。設問V「授業で学習したい内容」の結果を見ても、「日常会話」の回答が最も多く、英語をコミュニケーションの手段として学習したいという姿勢がうかがえる。ただ、設問VIの結果が示しているように、英語をコミュニケーションの手段として捉えている一方で、「文法」や「和訳」といった学習活動にも取り組みたいと考えている学生の割合が低・高学年とも少なくないことは特筆すべきである。

低・高学年、及び各学年の個別の特徴としては、設問Vの結果から、高学年では娯楽的な内容よりも、より社会と関連した「時事英語」や「ビジネス英語」に関心があることが示されている。さらに、設問VIの結果から、特に5年生では、「スピーチ・プレゼンテーション」や「自由英作文」など、より自由度の高い活動が求められていることがわかる。これは、アンケート調査の実施時期が11月初旬であり、既にほとんどの5年生が就職または進学先を決定していることが影響している可能性がある。英語学習をより現実社会と結びつけて捉えていることが見て取れる。

設問IVの結果については、学年によって回答にばらつきが見られる。このばらつきは、現行の授業内容や学年の特徴に影響を受けているとも考えられる。例えば、4年生では「聞く力」の回答が有意に多いが、これは、4年生でTOEICテストの対策を授業で実施している際に、聞き取りが難しいと感じている学生が多いことによると推察される。また、1年生は、英文法の体系的な学習を終了していないため、「文法知識」が不足していると感じていると考えられる。

今回の高専生の英語学習のニーズ分析から、全体の傾向

として以下のことがまとめられる。

- (1) 将来の仕事や海外旅行での英語使用など、実際に英語を用いてコミュニケーションをすることを意識している者が顕著である。
- (2) 聞く力・話す力といったオンラインのコミュニケーションに必要な技能の不足を感じている者が顕著である。
- (3) 英語を聞き取る活動や外国人と会話をするといったコミュニケーション重視の活動への関心が高い一方で、英訳や和訳、文法練習といった言語形式を重視した活動も必要と感じられている。

また、低学年と高学年の特徴の相違として、以下のことが挙げられる。

- (1) 低学年と高学年では、英語を学習する理由、授業で学習したい内容や活動に相違が見られ、高学年ではより社会との関連性がある内容に意識が向いている。

4. ニーズ分析に基づいたタスクとその実施

4.1 タスクの具体例

ニーズ分析の結果を基に、高専生のニーズに適していると考えられるタスクの具体例を次に提案する。例えば、今回の調査結果で低学年の特徴として挙げられた「日常会話」、「聞く力」と「文法練習」に注目してみた場合、友達同士の会話を題材にしたリスニングタスクの実施が考えられる(資料3参照)。このタスクは、留学生とクラスメイトが、電話で一緒に出かける場所を決定するという設定であり、タスクの目標は2人の行き先を聞き取ることである。

活動の手順は以下の通りである⁴。

- (1) 留学生とクラスメイトの会話をテープで聞かせる。
- (2) 学生は聞き取った内容を配布されたシートに記入する(資料3)。
- (3) 聞き取りを行った後、リスニングのスク립トを配布する(資料4)。
- (4) スクリプトを各自で読ませ、場面に応じた適切な英語を選択させる。

手順(1)と(2)では、学生は文法よりもメッセージを聞き取ることに集中することになる。その後、手順(4)で文法に焦点を当てた指導を行う。このタスクでは、会話の中で現在完了形と過去形といった時制と相が使い分けられている。最初に会話を聞き取っている際に、この使い分けに気づく学生もいるかもしれないが、手順(4)ではすべての学生にその使い分けを考えさせることができるよ

うに工夫されている。このように、タスク自体に予め目標となる文法項目を組み込んでおき、タスクの実施中や実施後に文法にも注意を引くことが可能である⁵。このようなタスクの実施は、コミュニケーション重視の授業内容を求めているものの、文法への苦手意識を持っている学生のニーズに対応しているものと考えられる。

次に、「仕事」、「聞く力」、「話す力」、「単語(語彙力)」に注目し、高学年を対象とした場合、「外資系の企業でインターンシップのための面接を受ける」というタスクが考えられる。このタスクの目標は、英語での面接を遂行することである。

タスクの手順は以下の通りである。

- (1) 学生に英語で履歴書を書かせる。
- (2) 学生を4人グループに分ける。
- (3) グループの中で、順番に面接の受験者と面接官の役割をさせる。面接官には、面接のための質問シートを渡す。
- (4) 面接が終わった後、面接官は採用の可否を決定する。

このタスクでは、履歴書を英語で書く際に必要な語彙を調べ、また面接で話す際にもその語彙を用いなければならない。面接の受験者、面接官ともに、タスクを達成するためには英語を聞いたり、話したりすることが必須である。高専の4年生以上では、企業でのインターンシップの機会があり、就職の際に多くの学生が面接を受験することもあるため、このタスクの場面設定は、将来の仕事に関連していると同時に身近な話題であると考えられる。

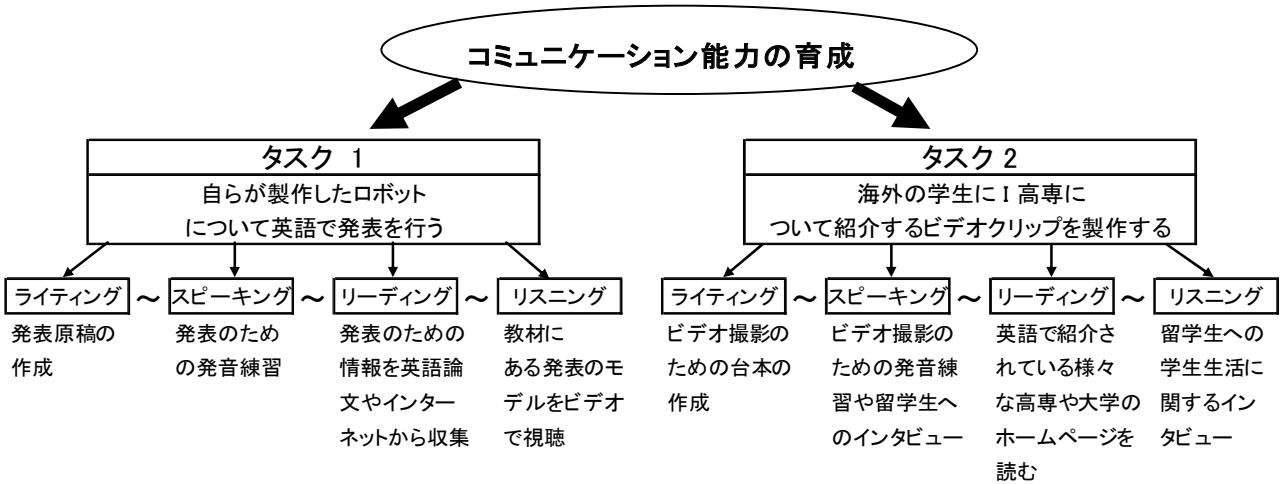
4.2 タスクを中心とした指導の実施

タスクを授業に取り入れ、効果的な指導を実施するためには、まず、授業の最終到達目標となる具体的なタスクを設定し、その目標を達成するために、どのような指導を行うべきかを検討しなければならない。図5は、「タスクを中心としたトップダウン型の指導モデル」を図示したものである。このモデルでは、「自らが製作したロボットについて英語で発表を行う」というタスク1と「海外の学生にI高専について紹介するビデオクリップを製作する」というタスク2を最終到達目標の例として設定している。タスク1を達成するためには、高専生はロボットについて説明するための語彙を辞書で調べ、英語で書かれた文献を読み情報を得なければならない。また、発表のための原稿を英語で準備することも必要である。さらには、英語での質疑応答に備えて聞いたり話したりする練習も行わなければならない。このようにタスクを達成することを目標に、英語の4技能を有機的に育成することができる。

一方、図6は、英語のスキル別に実施している「ボトムアップ型の指導モデル」である。このようなスキルに特化

した指導も必要ではあるが、各授業においては、コミュニケーション能力の育成を目指しているものの、何のために英文を読んだり、書いたりするのかといった目標を明確にすることは難しく、授業間の連携を十分に行うことが不十分となる可能性がある。そのような指導の弱点を補うため、

図 5. の「タスクを中心としたトップダウン型の指導モデル」に示されるように、コミュニケーション能力の育成を達成するために学生の能力に見合った適切なタスクを設定することが必要である。



* トップダウン型の指導においては、各授業の必要な場面で文法指導を行う。

図 5. タスクを中心としたトップダウン型の指導モデル

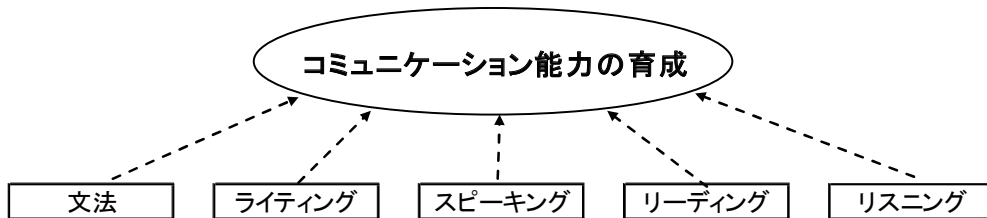


図 6. ボトムアップ型の指導モデル

5. まとめ

本研究では、高専の英語教育にタスクを取り入れることの可能性について、先行研究を踏まえて検討した。さらに、高専生の英語学習のニーズを調査し、ニーズに基づいたタスクを提案することを試みた。

今回のアンケート調査では、英語学習の理由として、多くの学生が将来の仕事で英語が必要になるかもしれないことを理由に挙げており、授業で学習したい内容としては日常会話を挙げるなど、コミュニケーションを意識した学習の必要性を感じているように思われる。一方で、語彙や文法の知識が不足していると感じている学生も多く、コミュニケーション志向の指導の中でも、語彙力の養成や文法指導も考慮していく必要があることが示唆された。

本稿では、アンケートを踏まえ高専生のためのタスクの具体例を提案した。ただ、今回の調査では、英語を学習する理由として「将来の仕事に必要なだから」と回答した者が、

どのような仕事の場面を想定して回答したのかということとは明らかではない。同様に、授業で「日常会話」を取り上げて欲しいという回答が多かったが、どのような会話の場面を想定して回答されたかまでは調査が及ばなかった。そのため今回提案したようなタスクを実際に行い、学生の様子を観察するなどして、よりニーズに適したタスクを作成していくことが必要である。

ただ、今回のアンケート調査は、一高専での実施のため、この結果から高専の英語教育に必要なタスクを一般化することは難しい。今後は、同様のニーズ分析を複数の高専で実施し、高専におけるタスクを中心とした指導を検討していく必要がある。今後の課題であるが、高専の教育課程を見直し、学習者のニーズに応えたタスクを遂行する能力の育成のためには、どのような言語活動が必要であり、また、可能となるかを、英語科にとどまらず、国語科など他教科との連携の上で考慮する時期に来ていると思われる。

謝辞

本研究の実施に際して、多くの点でご示唆をいただきました東京外国語大学の高島英幸先生、鎌倉女子大学短期大学の桐生直幸先生、アンケートの実施に際してご協力いただいた教員、学生の皆さんに心よりお礼を申し上げます。

注

1. 本研究は平成20年度科学研究費補助金(若手研究(B) 課題番号: 20720160)を受けて実施したものである。
2. 高等専門学校には、工業高等専門学校、商船高等専門学校などがあり、専門とする分野がそれぞれ異なる。英語学習のニーズは個々の学校により相違があると考えられるため、本稿では、特に言及のない限り「高専」という言葉を、本研究のアンケート調査の対象であるI工業高等専門学校を指すものとする。
3. アンケート項目の作成に際しては、全国高等専門学校英語教育学会・高専英語教育に関する調査委員会(2002)が高専の英語教員を対象に実施したアンケート項目、及びChaudron et al. (2005)がハワイ大学のタスクを中心とした韓国語教育のカリキュラムを策定する際に実施したニーズ分析のためのアンケート項目を参考にした。また、事前のパイロット調査により、項目の適切さを検討した。
4. タスクを実施する際には、タスクの準備段階としてプレタスクを実施したり、タスクの後にポストタスクを実施したりするなど、タスクの前後にどのような指導を行うかが重要である(Willis, 1996)。例えば、本稿で提案したリスニングタスクを実施する際には、タスク実施の前に英語の時制の使い分けを説明や練習によって理解させておいたり、タスク実施の後に、スクリプトを基にスキットを作成させるといった活動を実施することが考えられる。
5. この例のように、特定の文法構造の使用を予め狙って作成されているタスクを *focused task* と言う。一方、活動時に使用する文法構造を予め特定していないタスクを *unfocused task* と言う(Willis, 2003)。

参考文献

- 杉浦理恵・今井典子・村上美保子・高島英幸. (2003). 「タスクを中心とした「総合的な学習の時間」の在り方 —オーストラリア・クィーンズランド州の教育実践から— (前)(後)」『教職研修』 10月号, pp. 76-81, 11月号, pp. 91-97.
- 全国高等専門学校英語教育学会・高専英語教育に関する調査委員会. (2002). 「高等専門学校における英語教育の現

- 状と課題—新しい高専英語教育を目指して—」『平成13年度科学研究費補助金 基盤研究(C) 課題番号13898006 調査報告』文部科学省.
- 杉浦理恵・高島英幸. (2004). 「タスクによる児童・生徒が活きる授業への転換—文法指導のあり方をタスク活動を通して探る—」『英語教育』5月号, pp. 48-50.
- 高島英幸. (編著) (2005). 『文法項目別—英語のタスク活動とタスク—34の実践と評価』大修館書店.
- Chaudron, C., Doughty, C., Kim, Y., Kong, D., Lee, J., Lee, Y., et al. (2005). A task-based needs analysis of a tertiary Korean as a foreign language program. In M. Long (Ed.), *Second language needs analysis* (pp. 225-261). Cambridge: Cambridge University Press.
- Doughty, C. & J. Williams. (1998). *Focus on form in classroom second language acquisition*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Ellis, R. (2003). *Task-based language learning and teaching*, Oxford: Oxford University Press.
- Gorp, K. V. & N. Bogaert. (2006). Developing language tasks for primary and secondary education. In K. Brandem (Ed.), *Task-based language education: From theory to practice* (pp.76-105). Cambridge: Cambridge University Press.
- Long, M. (1996). The role of the linguistic environment in second language acquisition. In W. C. Ritchie & T. K. Bhatia (Eds.), *Handbook of second language acquisition* (pp. 413-468). San Diego, CA: Academic Press.
- Long, M. (2005). Overview: A rationale for needs analysis and needs analysis research. In M. Long (Ed.), *Second language needs analysis* (pp. 1-19). Cambridge: Cambridge University Press.
- McLaughlin, G. (1990). Restructuring. *Applied Linguistics*, 11, 2, 113-128.
- Sugiura, R. (2006). Grammar instruction through task activities and tasks in the EFL context. *ARELE*, 17, 101-110.
- Swain, M. (1998). The output hypothesis and beyond: Mediating acquisition through collaborative dialogue. In J. Lantolf (Ed.), *Sociocultural theory and second language learning* (pp. 97-114). Oxford: Oxford University Press.
- Willis, J. (1996) *A framework for task-based learning*, Harlow. Longman.

資料 1

高専生の英語学習に関するアンケート

このアンケートは、高専生の英語学習について調査するものです。結果は、英語授業の参考資料としますので、ご協力をお願いします。
 回答は、すべて回答用紙に記入して下さい。

I. あなたの実用英語検定(英検)の取得級について、あてはまるものを1つマークして下さい。

(例) 1級を取得している場合、○Aのように回答用紙のAの左横の○を黒く塗る。

- A 1級 ○B 準1級 ○C 2級 ○D 準2級
- E 3級 ○F 4、5級または受験経験なし

II. あなたの TOEIC の得点について、あてはまるものを1つマークして下さい。

- A 700点以上 ○B 600～699点 ○C 500～599点 ○D 400点～499点
- E 300点～399点 ○F 299点以下 ○G 受験経験なし

III. あなたにとって、英語が使えるようになりたい理由は何ですか。

以下のうち最もあてはまる理由を3つ以内で選択し、回答用紙にマークして下さい。

- A 英語圏の文化に興味があるから。
- B 海外旅行をするかもしれないから。
- C 留学するかもしれないから。
- D 将来の仕事に必要だから。
- E TOEIC、英検など資格試験の対策のため。
- F 専門科目の海外の文献を読むのに必要だから。
- G 国内で日本語によるコミュニケーションがとれず困っている外国人を助けたいから。
- H その他 (回答用紙に具体的に記入して下さい。)

IV. 以下に挙げた英語の能力や知識のうち、あなたにとって不足しているものを3つ以内で選択し、回答用紙にマークして下さい。


- A 聞き取る力 (リスニング力) ○E 正しい発音
- B 話す力 (スピーキング力) ○F 単語の数
- C 読む力 (リーディング力) ○G 文法の知識
- D 書く力 (ライティング力) ○H 海外の文化の知識
- I その他 (回答用紙に具体的に記入して下さい。)

V. 以下に挙げた英語のうち、あなたが高専の英語の授業で取り上げてもらいたい内容を3つ以内で選択し、回答用紙にマークして下さい。

- A 科学に関する英語 ○F 日常会話のための口語英語
- B あなたの専門科目に関する英語 ○G 英語の小説を読むための英語
- C TOEIC や英検等資格試験対策のための英語 ○H ビジネスに必要な英語
- D 新聞やニュースなどの時事英語 ○I テレビやラジオ番組の英語
- E 映画や音楽を鑑賞するための英語 ○J その他
(回答用紙に具体的に記入して下さい。)

VI. 高専の英語の授業であったが、「英語が使えるようになるために」取り組みたいと思う活動を3つ以内で選択し、回答用紙にマークして下さい。

- A 英語劇をする。 ○G 英文を和訳する。
- B 英文を音読する。 ○H 英語を使って外国人と会話をする。
- C 英語でディベートをする。 ○I 英語でスピーチやプレゼンテーションをする。
- D 日本語を英訳する。 ○J 与えられたトピックについて英文を書く。
- E 英語を聞いて、内容を理解する。 ○K 各自が好きな英語の本を選び、和訳せずに読む。
- F 文法の練習問題に取り組む。 ○L その他 (回答用紙に具体的に記入して下さい。)

 ご協力ありがとうございました。 人文科学科 杉浦 理恵

資料 2

表 1. 英語学習の理由 (設問Ⅲ) (単位: %)

	文化	海外旅行	留学	仕事	資格	専門	人助け	その他
1年	15.6	41.5	9.9	54.2	25.0	25.0	8.5	12.3
2年	17.4	42.6	4.7	66.3	35.8	26.3	7.4	10.0
3年	30.2	38.0	4.7	59.4	30.7	23.4	10.4	11.5
4年	20.8	41.0	4.9	61.1	43.8	31.3	6.9	10.4
5年	29.2	37.5	4.9	67.4	35.4	41.7	4.9	5.6
全学年	22.2	40.2	6.0	61.2	33.3	28.7	7.8	10.2

表 2. 不足している英語能力・知識 (設問Ⅳ) (単位: %)

	聞く力	話す力	読む力	書く力	発音	単語	文法	文化	その他
1年	33.5	49.5	11.3	43.4	26.9	41.0	50.5	9.0	3.8
2年	42.6	39.5	15.8	44.7	23.2	54.2	46.3	7.9	3.7
3年	48.4	45.8	23.4	38.5	19.3	57.8	28.6	7.3	5.7
4年	54.2	50.7	25.0	29.2	11.1	61.1	34.0	8.3	4.2
5年	46.5	51.4	27.1	34.0	20.1	54.9	38.9	5.6	4.9
全学年	44.2	47.1	19.7	38.8	20.7	53.1	40.2	7.7	4.4

表 3. 授業で学習したい内容 (設問Ⅴ) (単位: %)

	科学	専門	資格	時事	映画	日常会話	小説	ビジネス	TV・ラジオ	その他
1年	9.9	26.4	29.2	13.2	32.1	59.9	15.6	25.0	7.5	2.8
2年	11.1	31.6	43.2	18.4	32.1	61.6	10.0	24.2	5.8	1.6
3年	9.4	20.8	31.3	20.8	37.0	69.3	17.7	26.6	9.4	1.0
4年	12.5	19.4	38.2	22.2	36.1	63.2	14.6	34.0	6.9	1.4
5年	18.1	28.5	38.9	34.7	26.4	58.3	12.5	35.4	6.3	2.8
全学年	11.8	25.5	35.7	21.0	32.9	62.6	14.2	28.3	7.3	1.9

表 4. 授業で取り組みたい活動 (設問Ⅵ) (単位: %)

	劇	音読	ディベート	英訳	聴解	文法	和訳	外国人と会話	スピーチ	自由英作文	読書	その他
1年	4.2	12.7	9.0	28.8	25.9	34.4	29.7	23.1	6.6	7.5	15.6	5.7
2年	5.8	12.1	11.6	30.0	45.3	27.4	20.0	30.0	6.3	12.1	22.6	2.6
3年	9.4	8.9	13.5	24.0	40.1	21.9	26.0	28.1	14.1	14.6	19.8	3.1
4年	6.9	14.6	9.7	30.6	36.8	27.1	31.3	29.9	9.7	6.9	29.9	3.5
5年	5.6	13.2	11.8	30.6	36.1	24.3	32.6	27.8	17.4	23.6	22.2	2.1
全学年	6.3	12.1	11.1	28.6	36.6	27.3	27.6	27.6	10.4	12.6	21.4	3.5

いばらきツアースポット

留学生のメアリー (女性) さんと、クラスメイトの高専タローが来週出かけます。電話で、お互いの行きたい場所の情報を交換し、行き先を1つ決めることになりました。会話を聞き、青い欄(□)に聞き取れた情報をメモしましょう。2人はどこに行くのかを聞き取りましょう。

参考情報

目的地までの時間	つくばスペースセンター	ちくば山	信楽公園	大洗アクエリウム
当日の特典等	2時間 中・高生 入園 無料	1時間 30分 近くの温泉 無料券サービス (昼食付)	30分 拝観無料 抹茶 (菓子付) サービス	40分 すし食べ放題 (300円)

	行きたい場所に○	これまでに行った回数	その他 情報メモ
(例) △△フ ラワーパーク	メアリー タロー	1回 5回	虫が嫌い ガーデニングが趣味
信楽公園	メアリー タロー	回	
ちくば山	メアリー タロー	回	
つくばスペースセンター	メアリー タロー	回	
大洗アクエリウム	メアリー タロー	回	

☺ 2人はどこに行くことになりましたか。

行き先	決めたポイント
-----	---------

リスニングタスク スクリプト

注: リスニングタスクの後、スクリプトを配布し①~⑩の()内のうち適切な時刻と相を選択させる。

Mary: Taro, we are going to go on a day trip next week, aren't we?
So I called you this afternoon,
but nobody ① (**was answering** / **answered**).
Where were you?
Taro: Sorry, Mary. I went shopping in Mito.
and I ② (**was coming** / **have come**) home just now.
Mary: Oh, I see. I hope you enjoyed shopping there.
Taro: I did. By the way, where do you want to go, Mary?
Mary: Well, I ③ (**am wanting** / **want**) to go to Kairaku-koen.
Have you been there?
Taro: Yes, I ④ (**was going** / **have been**) there three times.
I ⑤ (**was** / **have been**) a fan of Mito Komon for five years.
How about you?
Mary: I've never been there. I ⑥ (**studied** / **have studied**) Japanese history for three years, so I'd like to go there.
Then, how about Chikuba-san?
Have you been there before?
Taro: Yes. But only once. I ⑦ (**climbed** / **have climbed**) the mountain three years ago, and I ⑧ (**was** / **have been**) very tired then. Do you like hiking?
Mary: Yes, I like it very much. So I want to go to Chikuba-san.
I've never been there.
Taro: I want to go to Tsukuba Space Center. Have you ever been there?
Mary: Yes. I ⑨ (**was going** / **went**) there last fall. How about you?
Taro: I've never been there. I'm interested in space, so I really want to go there.
And I'd like to go to Oarai Aquarium. Do you know that place?
Mary: Yes. I ⑩ (**saw** / **have seen**) a program about it on TV last week.
I've never been there, but I'm going there next month. Have you been there yet?
Taro: Yes, of course. I have been there twice, but I haven't been there recently.
Mary: Well, where shall we go? How about Kairaku-koen, since you've been a fan of Mito Komon for a long time, and since I like Japanese history? It takes us only 30 minutes to get there from our college. I think we will really like it there.
Taro: All right. Let's go to Kairaku-koen.

オーストラリア語学研修時の環境測定

奥山慶洋、森脇滉*、飯嶋竜司*、目時彩加*

平成20年度オーストラリア語学研修参加学生(ラジオ部員)*

The environmental measurements on a language study tour in Australia

Yasuhiro OKUYAMA, Akira MORIWAKI*, Ryuji IJIMA*, and Ayaka METOKI*

Abstract: This is one of the research reports on this year's language study tour, which deals with the environmental measurements in Australia. The students (three of the authors) participating in this tour measured the radiation and ultraviolet rays in an airplane and in Australia.

1. はじめに

本校国際交流センターでは、平成18年度の海外語学研修より自主的な自由研究の支援を行っている。その契機となったのは、平成18年3月のイギリス語学研修に参加した女子学生(現大学生)の行った航空機内の放射線量測定である。この研究は、その後、オーストラリア、ニュージーランド語学研修参加者によって発展を続けている。本稿は、今年度のオーストラリア語学研修に参加したラジオ部学生による新たな調査結果を中心にまとめたものである。

2. 動機

身のまわりのあらゆる物から放射線がでている。宇宙から、大地から、空気中から、食品から、つまり放射線はどこにでも存在しているものであり、私たちはそれらを常に浴びて生活している。それならば放射線の量場所によってどのように変化するのだろうかという疑問がでてきた。

去年、初めて富士山頂の気象庁富士山測候所が民間に開放された。我々ラジオ部ではおそらく全国の高校生・高専生としては初めて測候所内部の見学を行った。また、登山時に富士山山頂ではどれぐらいの放射線の線量率の値を示すか簡易放射線測定器「はかるくん」で実際に測定した。その結果、高度2400mの富士宮登山口から高度3600mの山頂付近までの1200mの高度上昇で、僅かながらに γ 線量率が上昇した。この結果から「高度が上がるに従って線量率が上がっていく」と結論付けた[2]。しかし、このデータの数値変化は僅かであるため、本当にこの結論でよいのか不安がある。過去に私達の先輩方が飛行中の飛行機内での放射線の変化を簡易放射線測定器「はかるくん」で測定した。飛行中の国際線の機内では「はかるくん」を用いて測定した線量率は地上の10倍以上の値を示した[1]。

そこで、先ほどの結論を検証するために私達も海外語学研修の際国際線の飛行機搭乗時の放射線量の変化を測定してみることにした。同時に、オーストラリア本土における環境中の放射線量についても測定することにした。

また、富士登山の際、日焼け止めを塗っていない腕や耳が日光の紫外線で水膨れを起こした状態になるなど、雲の上の山頂では日光が強く感じられ、紫外線強度の測定を課題としていた。旅行雑誌やガイドブック[7]をみると、オーストラリアでは紫外線が強いと記載されている。そこで、日本とオーストラリアにおける紫外線強度についても比較・測定することにした。

3. 飛行機内の γ 線・ β 線の測定

3.1. 方法

シドニー-成田間の飛行機に搭乗し、 γ 線の測定可能な簡易放射線測定器「はかるくん」メモリータイプと γ 線・ β 線の測定可能な「はかるくん」メモリータイプⅡを用いて一分おきに γ 線の線量率、 β 線の計数率を測定した。また、今回は機内で航空会社から提供される飛行機の位置情報(図3)も15分おきに記録した。なお、以前と同様に「はかるくん」の使用許可を機長から許可を取り測定した。



図1 簡易放射線測定器「はかるくん」
(左: γ 線測定用、右: γ 線・ β 線測定用)



図2 機内にて「はかるくん」で放射線を測定



図3 機内で航空会社から提供される飛行機の位置情報
この写真の場合、日本時間 11:41、オーストラリア上空、
出発地からの距離 789 マイルが読み取れる

3.2. 結果と考察

2008年9月中旬シドニー発成田行きの便に搭乗の際、乗務員を通して機長の許可を求めたところ許可が下りたため、飛行機内にて測定を行った。今回測定したシドニー-成田間 γ 線の線量率・ β 線の計数率、高度の変化を図4、図5に示す。また先輩が過去に測定した γ 線の線量率の変化を図6、図7に示す。

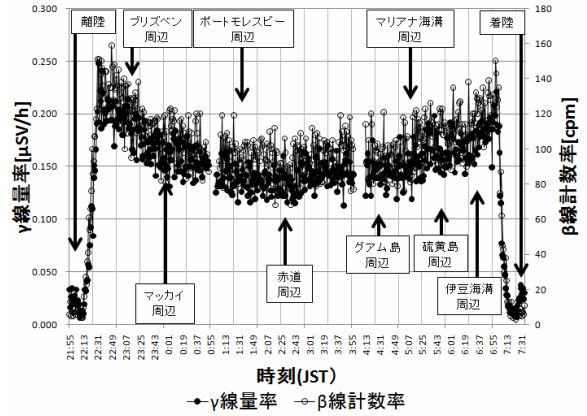


図4 シドニー-成田間の航空機内の γ 線の線量率の変化

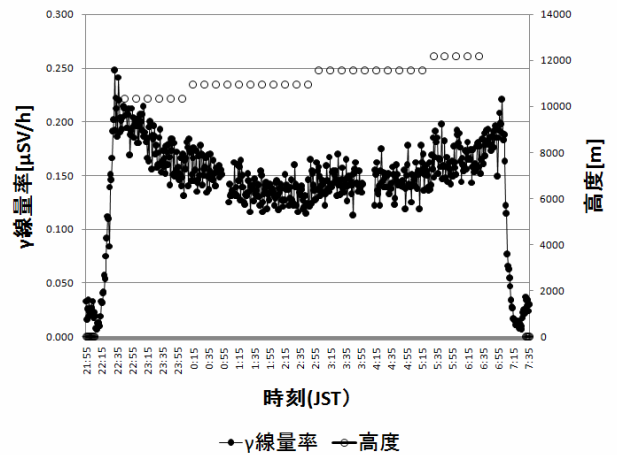


図5 シドニー-成田間の航空機内の線量率と高度の変化

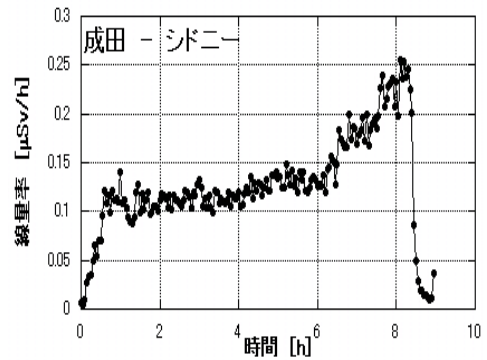


図6 航空機内の γ 線の線量率 (成田-シドニー) [1]

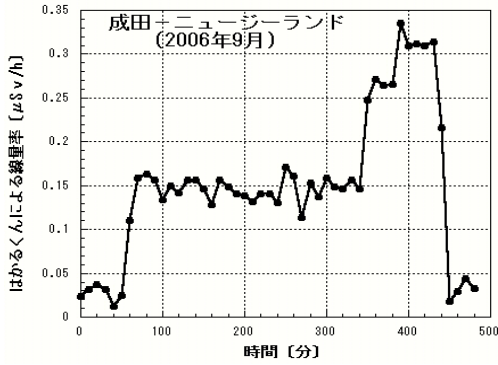


図7 航空機内のγ線量率（成田-ニュージーランド）[1]

今回測定した簡易放射線測定器「はかるくん」で求めたγ線被ばく線量は1.231[μSv]であった。

オーストラリア大陸上空と日本近海上空ではγ線の線量率、β線の計数率が高くなっている[1]。今年の飛行高度は日本近海上空においては高度が最も高くなっている(図5)が、オーストラリア大陸上空では高度がそれほど高くはない。過去に先輩が成田-シドニー間で測定したγ線の線量率の変化(図6)では着陸前にγ線の線量率が高くなっている。成田-ニュージーランド間でも同様な変化がみられた。これは着陸前に高度が高くなることが要因だと解釈していた。しかし今回の場合では、離陸直後にも関わらずオーストラリア大陸上空ではγ線の線量率が高い。

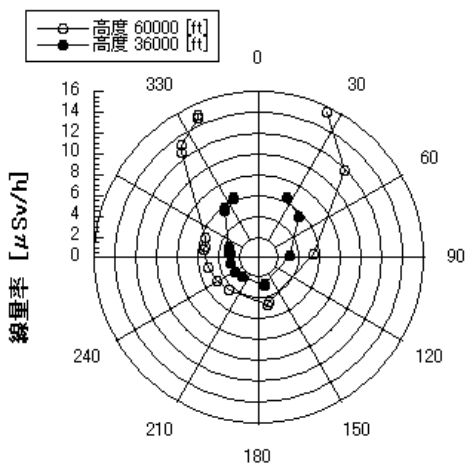


図8 CARI-6により求めた巡航高度6000[ft]と、3600[ft]の線量率の方位依存性の極グラフ(東京中心)[1]。

図8は、CARI-6により求めた巡航高度6000[ft]と、3600[ft]の線量率の方位依存性(東京中心)のグラフである。北方航路(北周りヨーロッパ便、アラスカ経由のアメリカ便)等の線量率が高い。これは、飛行ルート全体の線量率が高いのではなく、飛行機が地磁気の南極近傍を通るとき宇宙線、二次宇宙線による被ばくを多量に受けると解釈できる。図8が南北に対称なグラフにならないのは、南極圏を通過する商用航空路が無いためである。この仮定がどの程度もっともらしいか、地磁気の高さに対して図4

のグラフを描き直してみた。

計算結果を図9に示す。図の10点はランダムに分布しているのではなく、右に傾けたUの字型に表された。成田とシドニーは、それぞれ航路中では地磁気の高さが最大である。それぞれ、北極、南極に近い。両者の中点(赤道)付近で、地磁気の高さは極小で、飛行機内の放射線の強度も極小になる。

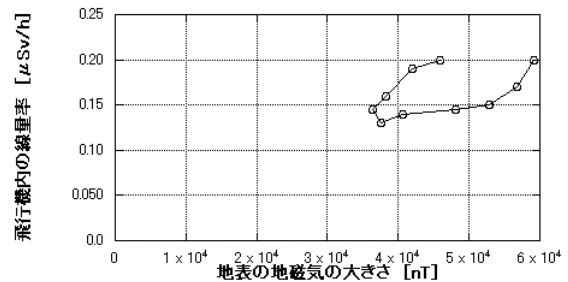


図9 地磁気の高さと航空機線量(2008年9月のデータより作成)シドニー-成田便。右端がシドニー

今後も調査を後輩に託して、海外語学研修の際、毎年測定を続け、往復の観測データを蓄積し考察する必要がある。

高い飛行高度では、簡易放射線測定器「はかるくん」の測定値を補正する必要がある[8]。今回のシドニー-東京航路では、「はかるくん」による飛行線量は片道で1.231[μSv]であったが、専門家、放射線医学総合研究所のホームページのJISCARD(航路線量計算プログラム)で計算すると、東京-シドニー間の2008年9月期の平均的な巡航高度(36000ft=約11km)では15[μSv]と計算された[8]。

「はかるくん」での測定線量と専門家の予測式を使って計算した値とでは、12.1倍の開きがある。主な原因は、高度11kmの巡航高度では、環境放射線の主成分が二次宇宙線の中性子によるものであり、その線量はγ線(光子)の倍以上である。この、簡易放射線測定器「はかるくん」による測定値と専門家の予想計算の大幅な乖離については、ラジオ部の先輩たちがJISCARD[8]と、アメリカのFAA(連邦航空局)のCARI-6[9]による計算結果と、エネルギー補正(補償)されたγの線量率の比について巡航高度1[km]から巡航高度26[km]までの範囲で計算している[1]。

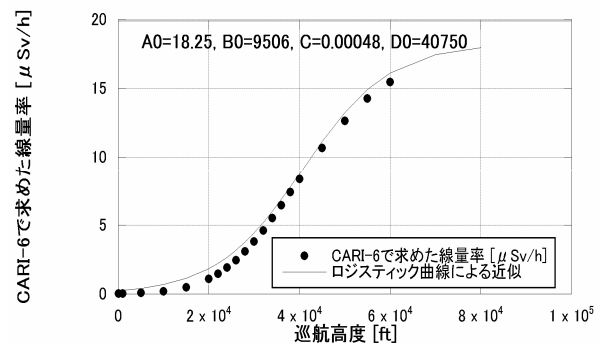


図10 CARI-6で計算した成田-ニューヨーク間の航空機

内の線量率の巡航高度依存性[9]

図 10 に、ラジオ部の先輩方が CARI-6[9]で計算した成田—ニューヨーク間の線量率の巡航高度依存性のグラフを示す[1]。図 11 の「総線量率/(光子+電子)の値(図の右側の目盛り)」を読めば、高度ごとにエネルギー補償型の測定器で測ったγ線の線量値の何倍かが総線量となるので、巡航高度がわかれば、γ線の測定値から中性子を含む全線量をほぼ推定できることになる。

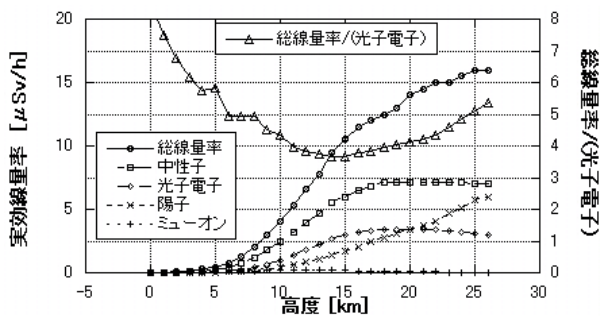


図 11 飛行機の巡航高度、各種放射線の線量率と、エネルギー補償型線量率測定器によるγ線の線量の実測値と、JISCARD、CARI-6による航路線量の比。
高度ごとの総線量率と、その成分の中性子、光子+電子、陽子、ミュオンの線量率(左縦軸)と「総線量率/(光子+電子)」(右縦軸)、[8.9]より計算[1]

私達の計算によれば、巡航高度 11km で全線量とγ線(光子)線量の比は約 4 倍である。簡易放射線測定器「はかるくん」は、非エネルギー補償型の測定器であるが、「はかるくん」で求めた線量 1.231 [μSv]を 4 倍すれば、線量は 4.924 [μSv]になる。12 倍の開きがほぼ 2.4 倍にまで縮まる。この 2.4 倍の開きの原因は、簡易放射線測定器「はかるくん」の計数率の補正が低エネルギーの Cs-137 の 0.662MeV のγ線による 1 点補正のため、それより高エネルギーのγ線の検出効率が 1 より低く、計数率を線量率に換算する際、必ず過小評価することになるためである[1]。

すなわち、巡航高度での放射線の主成分である中性子の検出がγ線検出器では原理的に不可能なため、仮にエネルギー補償型を使用したとしても、全放射線線量はそのγ線測定器の表示値の高度による補正が必要であり、更に、高エネルギーγ線に対する検出効率の補正が必要である。

4. シドニー周辺の放射線線量率の測定

4.1. 方法

ホームステイ先と語学学校 Universal English College (以下、UEC)の通学の際、Seaforth shops - City Wynyard 間のバス車内でγ線の線量率、β線の計数率を測定した。

また、9月6日に UEC からシドニー郊外の牧場 Tubruk

Sheep Station を訪れた際、往路・復路のバス車内でもγ線の線量率、β線の計数率を測定した。測定の方法は、簡易放射線測定器「はかるくん」メモリータイプ、「はかるくん」メモリータイプⅡを用い、窓側に着席時測定した。

4.2. 結果と考察

Seaforth shops - City Wynyard 間、City Wynyard - Seaforth Shops 間、UEC - Tubruk Sheep Station 間、Tubruk Sheep Station - UEC 間のγ線量率、β線計数率の変化を図 12～16 に示す。図は左側を郊外、右側を都心としてある。

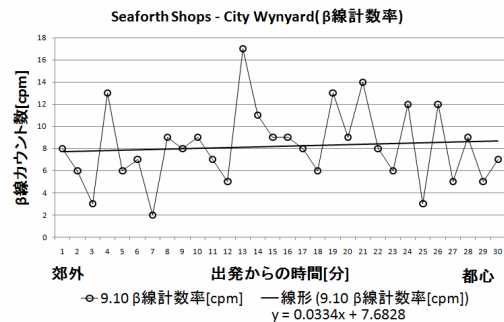


図 12 Seaforth Shops -City Wynyard 間のバス車内のβ線の計数率変化

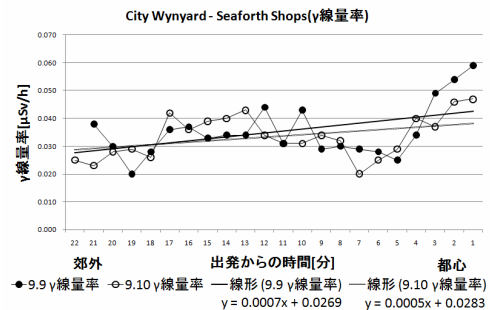


図 13 City Wynyard - Seaforth Shops 間のバス車内のγ線の線量率変化



図 14 City Wynyard - Seaforth Shops 間のバス車内のβ線の計数率変化

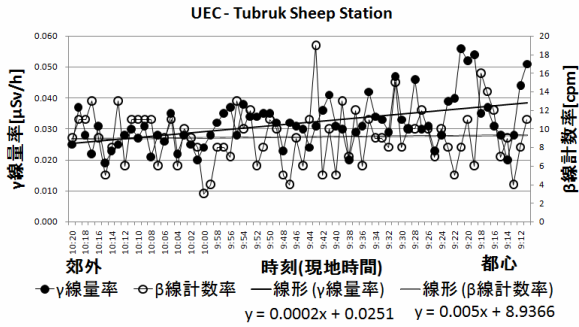


図 15 UEC - Tubruk Sheep Station 間のバス車内の γ 線の線量率、 β 線の計数率変化

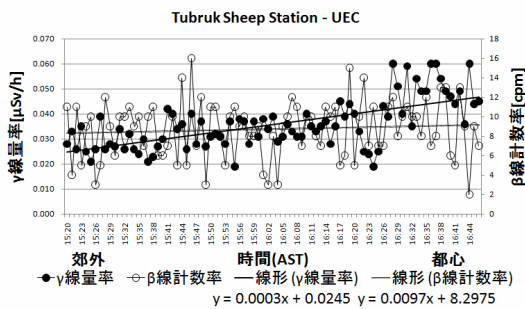


図 16 Tubruk Sheep Station - UEC 間のバス車内の γ 線の線量率、 β 線の計数率の変化

Seaforth shops - City Wynyard 間、Tubruk Sheep Station - UEC 間では、 γ 線の線量率は郊外から都心に向かっては増加しながら上昇している。 β 線の計数率には変化が無い。これらのことから、シドニー都心は周辺よりも γ 線の線量率が高い。原因はビルなどの建造物が多く、それらから受ける放射線も多いからだと考えられる。

5. オーストラリアにおける紫外線強度の測定

5.1. 方法

オーストラリアでの語学研修中紫外線量を、太陽を直視できる環境にて測定した。測定器はケニス デジタル紫外線強度計 UV-340 を用いた。また、測定地点における太陽高度を[5]を用いて調べ、太陽光が太陽の南中時に大気圏を通過する距離 d を次のように調べた。

図 17 のように地球の中心を原点とした座標を考える。点 a を観測地点、点 b を太陽光が現地時間の正午に大気圏に突入する地点、地球の半径を r 、地表から大気圏までの高度を h 、太陽高度を θ とする。

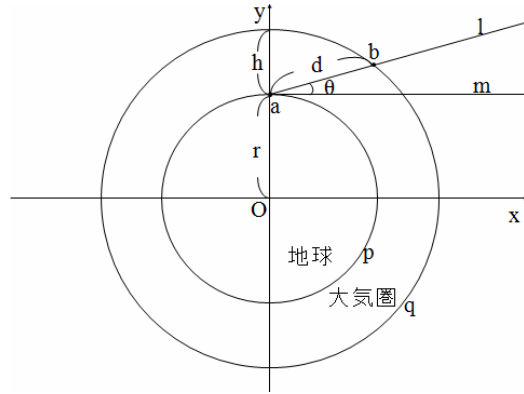


図 17 地球の中心を原点とした座標

円 q の方程式は、 $x^2 + y^2 = (r + h)^2$ …①

直線 l の方程式は、 $y = x \cdot \tan \theta + r$ …②

点 b の座標は円 q と直線 l の交点であるから②を①に代入して

$$x^2 + (x \cdot \tan \theta + r)^2 = (r + h)^2$$

$$(1 + \tan^2 \theta) \cdot x^2 + 2x \cdot \tan \theta - (2rh + h^2) = 0$$

x は正に存在するから

$$\therefore x = \frac{-\tan \theta r + \sqrt{\tan^2 \theta r^2 + (1 + \tan^2 \theta)(2rh + h^2)}}{1 + \tan^2 \theta} \dots ③$$

$$y = \frac{-\tan \theta r + \sqrt{\tan^2 \theta r^2 + (1 + \tan^2 \theta)(2rh + h^2)}}{1 + \tan^2 \theta} \tan \theta + r \dots ④$$

よって、太陽光が大気圏を通過する距離 d は

$$\therefore d = \sqrt{x^2 + (y - r)^2}$$

となり③、④を代入することで求められる(θ は[3][5])。

5.2. 結果と考察

8月7日の日本(茨城高専)と9月7日および10日のオーストラリア(シドニー)の紫外線強度の変化を図 18、太陽高度の変化を図 19、太陽光が通過する距離を図 20 に示す[3]。

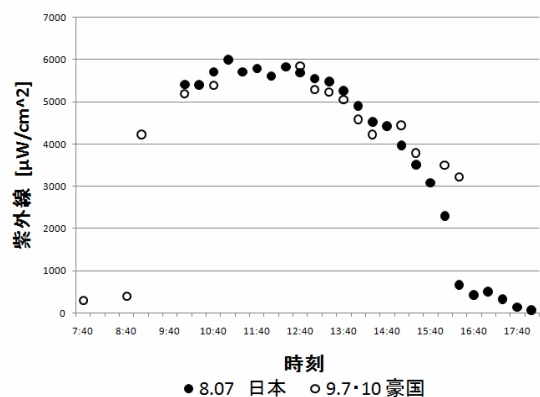


図 18 日本 8 月 7 日、オーストラリア 9 月 7 日・10 日の紫外線強度の時間変化 (各現地時間)

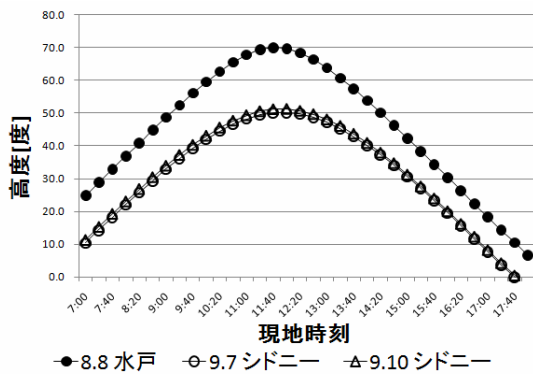


図 19 水戸 8 月 8 日、シドニー 9 月 7 日・10 日の太陽高度の変化（各現地時間） [5]

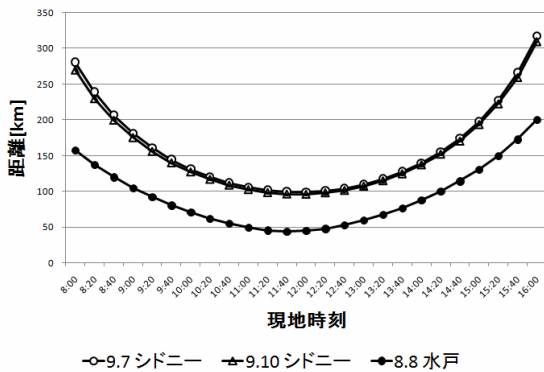


図 20 水戸 8 月 8 日、シドニー 9 月 7 日・10 日の太陽光が通過する大気圏の距離の時間変化（各現地時間）

オーストラリアで冬の紫外線強度を測定してみたところ、日本の真夏とほぼ同じ紫外線強度であった。計測時、オーストラリアでは冬であり、太陽高度が水戸より低かった。また、南中時の太陽高度をもとに調べた太陽光が大気圏を進む距離は、シドニーの方が長い。このことから、シドニーの方が太陽光の減衰が大きい。それにもかかわらず、冬のオーストラリアの紫外線の強度が夏の日本と同じであることから、オーストラリアでは紫外線の強度が日本より強いといえる。オゾンホールとの拡大と関係は不明である。しかし、空気の汚れ、あるいは、湿気のため、地表に届く紫外線の量が減っているだけという可能性もある。今後は空気の汚れや湿度など今回の測定項目以外の環境調査も継続的に行う必要がある。

6. まとめ

1. 飛行中の航空機内の放射線強度は、地上での測定値や、また富士山での測定値よりもはるかに高い。
2. オーストラリア大陸上空には γ 線の放射線量を高くする要因がある可能性があるかもしれない？
3. シドニーの都心では周辺の郊外地域よりも γ 線空間線量率が高い。場所による β 線の計数率の差はなかった。
4. オーストラリアでは紫外線強度が日本より強い。

5. 高い飛行高度での線量を見積もるには、 γ 線測定器の測定値を飛行高度で補正する必要がある。

7. 謝辞

簡易放射線測定器「はかるくん」を無料でお貸しいただいた、文部科学省および（財）日本科学技術振興財団に感謝します。また、オーストラリア語学研修を企画運営してくださった国際交流センターの先生方、オーストラリア語学研修を引率してくださった大塚賢一先生、小飼敬先生および飛行機内での放射線測定に協力してくださった航空会社にも感謝します。測定データの引用を快諾していただいたラジオ部の先輩方、および顧問の松沢孝男先生にも感謝します。

8. おわりに

本稿では、今年度オーストラリア語学研修に参加したラジオ部所属の学生によって行われた国際線の航空機内の放射線量測定およびオーストラリアの紫外線量測定について、その調査内容と結果・考察を中心にまとめた。内容からも明らかなように、当初国際交流センターで期待していた自由研究という枠を超え、本格的な研究に発展できる可能性を持つ調査を行ったことがわかる。今後も自主的な自由研究を支援し、将来学生たちが卒業研究等にも役立つような研究手法を身に付ける絶好の機会を提供したい。

参考文献

- [1] 松沢孝男、奥山慶洋、関根恵、浅野健、高崎良一、高柳拓也、身のまわりの放射線の測定の試行、—航空機、富士山、2 次宇宙線、北朝鮮の核実験—、茨城工業高等専門学校研究彙報、第 42 号、pp. 45–52 (2007)。
- [2] 松沢孝男、大沼侑司、会澤雄基、阿久津達也、森脇滉、中島宏昌、飯嶋竜司、箕輪栞、関根恵、保田浩志、宇宙線の測定を目指した富士山登山、*ibid.*、第 43 号、pp. 35–46 (2008)。
- [3] 国立天文台編理科年表 2008、オゾン層(p.923-929)。
- [4] 国立天文台編理科年表 CD-ROM 2006。
- [5] 「国立天文台、暦計算室、こよみの計算」。
<http://www.nao.ac.jp/koyomi/koyomix/koyomix.html>
- [6] 気象庁、気象統計情報、地球環境・気候、[地球環境の診断表] オゾン層・紫外線、オゾン層・紫外線のまとめ。
<http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/ozonehp/sokuhou.html>
- [7] JTB パブリッシング発行、ワールドガイド、シドニー・ゴールドコースト・ケアンズ 改訂 2 版。
- [8] JISCARD：航路線量計算システム、放射線医学総合研究所、<http://www.nirs.go.jp:8080/jiscard/data.htm>
- [9] CARI-6、FAA(米国連邦航空局)、
<http://jag.cami.jcabi.gov/cariprofile.asp>。

茨城工業高等専門学校における海外短期語学研修の言語学的教育効果検証

—2年間のデータ分析から—

大塚 賢一

Verification of learning effects on short study abroad programs at Ibaraki National College of Technology

Ken'ichi OTSUKA

Abstract: The purpose of this study is to verify the learning effects on attending short study abroad programs at Ibaraki National College of Technology. The following two English tests and two anxiety questionnaires were administered in order to examine the effects of the programs: (1) CASEC (Computerized Assessment System for English Communication), (2) original speaking test (discussion task in a group of three), (3) questionnaire of English Use Anxiety (EUA), and (4) questionnaire of English Class Anxiety (ECA). The main findings were as follows: (1) the result of CASEC did not show any positive effects on attending short study abroad program, (2) the speaking test proved that the short study abroad programs enhanced participants' speaking fluency, and (3) the result of anxiety questionnaires indicated that the students who took part in the short study abroad programs reduced both EUA and ECA.

1. 研究の動機

一般論として、海外語学研修参加は「本物の外国語環境を体験でき、学習意欲が高まる」「海外を体験することで国際的視野が広がる」等の教育効果があると考えられており、茨城工業高等専門学校（茨城高専）でも本科生を対象に2週間の海外語学研修が毎年3プログラム実施されている（2年生：シドニー(豪州)、3年生：ロトルア（ニュージーランド）、4年生：オックスフォード（英国））。後援会費から一人当たり数万円の補助金が支給され、個人の負担額は概ね30万円程度であり、特に2名1組のホーム・ステイ形式で実施される2年生のシドニー語学研修は毎年多くの参加者を集めている。

参加者は研修終了後、日本においては味わえない様々な経験に肯定的な感想を述べる。また教員も、語学研修に参加した学生が英語学習に対する意欲を向上させる等の報告をしており、これらは海外語学研修に参加することに教育効果があることを示唆していると言える。一方で、2週間程度の短期語学研修では「観光旅行と変わらない」「英語力向上には至らない」「学習者の意欲向上も一時的である」との見方もある。しかしこうした意見は、客観性の高い指標を用いて分析された海外短期語学研修の効果測定例がほとんどないことに原因があると考えられる。海外短期語学研修に参加することによって学習者の何が変わるのかを示す「量的学術データ」が不足していることから、研修の有効性ははっきりと示せていない。

こうした状況の中で茨城高専では、後援会費が海外語学研修に参加する一部の学生だけに支出されることの是非を問う議論が起り、研修の教育効果を具体的な数値で提示することが求められた。そこで本論は、茨城高専における海外短期語学研修の教育効果を言語学的視点から検証する

ことを目的とし、2006年～2007年に実施された語学研修の参加学生及び非参加学生を対象に集められた3つの測定データの分析結果を考察する。尚、本研究は発表済みの大塚(2007)、大塚(2008)、及び大塚・根岸(in press)をまとめ、更に再考察を加えたものである。

2. 茨城高専における語学研修プログラム

2.1 シドニー語学研修（本科2年生対象・全行程14日間）

シドニー語学研修は毎年20～30名が参加しており、学生は2名1組でホーム・ステイし、公共交通機関を使ってシドニーのシティ内にある私立の語学学校（Universal English College）に通学する。教室での授業は午前中のみで14日間で8日行われ、学生は1クラス10名以下の3つのレベル別クラスに分かれ、1日に90分1コマと45分1コマの計2つを受講する。授業は全て英語の母語話者である専属教員が行い、タスク・ベース（与えられたタスクを英語を使いながらこなしていく）の授業が展開される。3クラスとも茨城高専の学生のみで構成され、学校内では他国出身の学生等との交流機会はほとんどない。8日ある授業日の午後は、語学学校の教員引率によるシドニー市内の徒歩観光が5日行われ、残りの3日は自由研修で、買い物や観光を楽しむ学生が多い。授業外の1日は地元の高校での交流活動が行われ、土曜日には観光牧場への1日旅行が、帰国前日には世界遺産（ブルー・マウンテンズ）観光が行われる。1日中自由になる日曜日は、ホスト・ファミリーと過ごす日とされる。

語学学校でのクラスが茨城高専の学生のみで構成されており、また2名1組でのホーム・ステイであることから、外国にいるとは言っても英語しか使用しない環境ではない。しかし、自分の意思を英語で、さらにそれを口頭で他人に伝えなければならない状況が皆無である日本国内での通常

の生活と比較すると、授業中ではもとより、街中やホーム・ステイ先で英語に触れる機会は圧倒的に多い。

2.2 ロトルア語学研修（本科3年生対象・全行程15日間）

ロトルア語学研修は平成18年に開始された最も新しいプログラムで、参加者は毎年10名以下の少人数で推移している。学生は1名で1つのホスト・ファミリー宅にホーム・ステイし、北島ロトルアにあるワイアリキ工科大学のESLクラスを受講する。年により研修内容に変更があるが、概ね教室で実施される授業は午前中のみで15日間で9日行われる。授業はタスク・ベースで複数のESL専属教員が担当し、1クラスあたりの人数は多くて10名で、茨城高専の学生のみのクラスもあれば、他国出身学生がいる一般ESLクラスで受講することもある。9日ある授業日の午後は、大学の一般クラスの聴講に2日、ロトルア市内の観光に5日、残り2日は自由時間にあてられる。また、土日は完全に自由で、ホスト・ファミリーに連れられて様々な活動を楽しむ学生がほとんどである。1名でホーム・ステイすること、また研修先の大学では日本語以外を第一言語とする英語学習者との交流機会も多いことから、シドニー語学研修よりも更に英語に触れる機会は多い。

2.3 語学研修の目的・通常授業との関係・事前事後研修

上記2つの研修プログラムの他に本科4年生対象のオックスフォード語学研修が実施されているが、研修の目的は全プログラムとも「英語圏の文化理解と英語学習に対する動機付けを高めること」に留まり、具体的な英語力の向上目標値などは設定されていない。従って、プログラム修了者に対する単位付与は行われず、特別な選考もなく希望者は基本的に全員研修に参加することが可能であり（4、5年生は定員が20名とされるが毎年定員にまでは達しない）、参加者の英語の成績も学習意欲も多岐にわたる。

参加希望学生のみに行われる語学研修であることから、通常カリキュラム下で行われている英語の授業と3つの語学研修プログラムに指導上の連携はない。講義形式による事前研修は3回で、渡航先の文化・習慣等の学習は1回であり、残りの2回は帰国後に提出する研修レポートの書き方の指導と、気候や為替レートなどの最新状況の伝達が行われる。実践的な英語のトレーニングは行われない。帰国後は、翌年の研修に参加予定の学年の学生全員を前に帰国報告会が実施されるが、発表内容は全て学生に任されており、発表や準備に参加するかしないかも学生の自主性に任されている。また、研修企画部署への提出する研修レポートは参加学生の自由研究的な観点から実施されているが、提出したレポートに対するフィードバックは行われていない。以上のことから、渡航前に時間をかけた事前指導が行われてはならず、また実質的に事後指導等は行われていないことから、実施されている3つの海外短期語学研修はいずれも単発の事業の要素が強い。

3. 先行研究

3.1 留学と海外語学研修が目標言語習得に及ぼす効果

2週間程度の短期の海外語学研修とは異なり、海外留学が目標言語の習得成功に及ぼす効果については様々な研究が行われてきている(e.g., Freed, 1995; Harley & Hart, 2002; Sasaki, 2007)。それらの中でも言語面の能力向上に着目し、またスピーキング能力のうちの「流暢さ」の変化に着目した研究がある。Segalowitz and Freed (2004) は、英語が第一言語である米国大学生のスペイン語習得に海外留学が及ぼす影響を、留学グループ(22名、スペインの大学で週に3つのスペイン語コースを学習)と米国内通常授業グループ(18名、週1回の通常授業)に分けて分析した。流暢さの測定には Oral Proficiency Interview (OPI) を使用し、プログラム1週目に事前測定、13週目に事後測定を行った。流暢さの分析には数量化できる客観的指標である general oral performance としての3観点 (total words spoken, duration of speaking time, longest turn) と、oral fluency としての4観点 (speech rate, hesitation-free speech runs, filler-free speech runs, fluent runs) が用いられた。尚、事前テスト時点での両グループの等質性は証明されている。分析の結果、留学グループは通常授業グループに比べて longest turn、speech rate、filler-free speech runs の3項目に統計的に有意な向上を示した。これにより海外留学が流暢さを向上させたことを示唆していると結論付けている。この研究は、評定者の主観的評価ではなく、客観的に数量化されたデータを基に分析・考察している点で結論の信憑性が高い。しかし、2週間前後の短期学習で、更に日本語が第一言語の英語学習者に対する流暢さ向上に関する研究ではないため、日本の高専生レベルの英語学習者を対象に行われる海外短期語学研修でも同様の結果となるかはわからない。

Segalowitz and Freed (2004) のような中・長期での海外留学の効果測定と比べて、1か月以下の短期の語学研修の効果を扱った報告は少ない。木村 (2008) は、3週間の海外短期語学研修の効果も、参加グループ19名と非参加グループ41名に分けて検証した。英語力の変化は、英検準2級の過去問題から抜粋した計52項目を使用し、研修開始2週間前と研修終了3週間後に測定した。分析の結果、テスト全体の成績において、非参加グループには成績の向上が見られなかったが、参加グループには事後測定時に成績の向上が見られ、更にセクション毎（文法：10項目、英作文（整序問題）：5項目、リーディング：7項目、リスニング：30項目）に分析したところ、事後測定時の参加学生のリスニング・セクションに統計的に有意な成績の向上が見られたことから、海外語学研修に参加したことによるリスニング能力向上を示唆するものであると結論付けている。この研究は日本人を対象にした海外短期語学研修の教育効果を測定しているが、使用テストのセクション毎の項目数の相違からくる信頼性上の問題のほか、被験者が大学生であること、また海外における語学研修に参加することで最も能力の向

上が期待されるスピーキング能力が測定されていないことから、結果の解釈は慎重に行う必要があると思われる。

横川・藪内・鈴木・森下 (2006) は、約3週間の海外短期語学研修に参加した34名の日本人大学生を被験者とし、研修前と研修後にスピーキング・テストとして Harcourt/ Ordinate Corporation 開発の Versant for English を施し、Part E の3問の自由回答式質問の発話データをもとに短期語学研修の効果を報告した。Part E とは、“Do you like playing more in individual or in team sports? Please explain.” 等の質問に口頭で答える形式である。分析は使用語彙と発話潜時（質問されてから応答するまでの時間）の2観点から行った。分析の結果、事後測定時に発話語彙数が有意に増加したが、異なり語数（何種類の単語が使われているか）及びワード・ファミリー（派生語なども一語として数える）には有意差がなかったこと、事後測定時に発話潜時が有意に速くなっていること等が判明した。以上により、短期海外語学研修の効果として、リスニングにおける理解がある程度高速処理化され、スピーキング・プロセスにおける語彙へのアクセスや検索の自動化が進んだ可能性を指摘している。この研究結果は、スピーキング能力を直接測定した結果を基に語学研修の効果を報告している点で有益である。しかしながら、高専生レベルの学習者を被験者とした場合に同様の結果になるかの検証に加え、使用語彙と発話潜時以外にも分析項目を追加した追実験の必要性を感じさせる。

3.2 海外語学研修と情意要因の変化

学習不安といった情意要因は個人要因の一つであり、言語習得に大きな影響があることが指摘されている (Ellis, 1994)。不安は言語の acquisition、retention、production に干渉し、第二言語の習得に潜在的な問題となりうるとされ (MacIntyre & Gardner, 1991)、Horwitz, Horwitz and Cope (1986) では、リスニングとスピーキングが不安の大部分を占めており、特に自由会話において不安感が増大すること、不安な状況では能力を発揮しにくいこと等が指摘されている。また、Young (1986) ではスピーキング・テストと不安感に負の相関が確認されるなど、不安が言語習得に負の影響を与えることは様々な先行研究で明らかにされている (e.g., Ellis, 1994; Ellis & Rathbone, 1987; 八島, 2003)。また、Clement and Kruidenier (1983) は、外国語不安を接触度という観点からとらえ、目標言語との接触時間が長くなれば不安の減少につながるというモデルを提案しているほか、Aida (1994) は目標言語の文化圏の人々や文化等との接触量が増えると不安が少なくなるとも述べており、これらは海外語学研修が不安の減少に貢献する可能性を示唆しているとも言える。

4. 研究の目的

上記の先行研究を踏まえ、本研究の目的は以下の2点を明らかにすることである。

- 茨城高専主催の海外短期語学研修に参加した学生の英語力に変化は起こるか
- 茨城高専主催の海外短期語学研修に参加した学生の「英語使用不安」と「英語授業不安」に変化が起こるか

5. 実験と分析結果

本研究では3つの実験を行った。まず実験1では、「英語コミュニケーション能力判定テスト: CASEC」を使用し、英語力の変化を検証した。実験2では、スピーキング・タスクを課し、それにより引き出された言語データを客観的指標を用いて数量化し、英語力の変化を検証した。さらに実験3では、情意要因の変化を質問紙により測定し、研修前後と研修終了5ヶ月後の学習者の不安の変化を検証した。

5.1 実験1 英語力の変化測定その1「CASEC」

英語力の変化を一般的にわかりやすく説明するには、妥当性や信頼性の確立された既存のテストを使用することが最適であると考え、実験1では(株)教育測定研究所の「英語コミュニケーション能力判定テスト: CASEC」を使用し、英語力を測定した。CASECは1000点満点で4つのセクション（各250点満点）に分かれており、Section1では「語彙の知識」、Section2では「表現の知識」、Section3では「リスニングでの大意把握能力」、Section4では「具体情報の聞き取り能力」が測定され、その総点を基に英語コミュニケーション能力を判定するものである。全てコンピュータを使用して実施され、項目応答理論に則った精度の高い測定が短時間でできることが特徴で、多くの教育機関や一般企業で広く使用されている信頼性の高いテストである。

5.1.1 被験者

本科2年生69名（男子53名、女子16名）で、そのうちシドニー語学研修非参加グループは計34名（男子30名、女子4名）で、シドニー語学研修参加グループは計35名（男子23名、女子12名）である。第一言語が日本語以外の者、英語圏からの帰国子女及び14日間を超える英語圏への語学研修経験者はいない。

5.1.2 手順

事前測定は語学研修開始3週間前に、事後測定は研修終了3週間後に行い、両測定には8週の間隔を設けた。

5.1.3 両群の等質性検証

t 検定を用いた研修開始前の両グループの「英語コミュニケーション能力」の等質性検証の結果、両側検定において有意差は見られず（総点: $t(68) = .49, p = .63$, Section 1: $t(68) = .06, p = .95$, Section 2: $t(68) = .67, p = .51$, Section 3: $t(68) = .32, p = .75$, Section 4: $t(68) = .33, p = .75$ ）、非参加グループも参加グループも研修前における英語コミュニケーション能力には違いがないことが統計的に証明された。

5.1.4 分析結果と考察

表1は両グループの事前測定と事後測定時におけるCASECの平均値と標準偏差を表している。総点、各セクシ

表 1 非参加・参加グループの CASEC 得点

		非参加		参加	
		M	SD	M	SD
Total (総点)	事前	376.7	67.0	384.8	72.4
	事後	388.9	65.3	399.2	72.8
Section 1 (語彙知識)	事前	89.7	24.9	90.0	26.8
	事後	97.7	19.3	89.1	27.5
Section 2 (表現の知識)	事前	93.6	19.6	96.9	21.7
	事後	96.2	27.2	97.0	29.2
Section 3 (リスニングでの大意把握)	事前	104.4	31.1	106.9	35.3
	事後	100.7	26.6	104.0	23.6
Section 4 (具体情報の聞き取り)	事前	89.0	27.2	91.0	23.3
	事後	94.4	23.9	104.0	23.6

Note. n = (非参加: 34, 参加: 35), 満点 = (総点:1000, 各セクション:250)

ョンの平均値の差とグループ間の関係を検証するために、混合要因の分散分析を行った。総点の分析結果は以下の通りである。まず、測定時期とグループ間の交互作用に有意差はなかった ($F(1,68) = .02, p = .89$)。更に、測定時期とグループそれぞれの主効果にも統計的有意差はなかった (測定時期: $F(1,68) = 3.09, p = .08$ 、グループ: $F(1,68) = .39, p = .54$)。次にセクション毎の分析結果は以下の通りである。まず、調査時期とグループ間の交互作用において有意差はなかった (Section 1: $F(1,68) = 1.87, p = .41$, Section 2: $F(1,68) = .13, p = .67$, Section 3: $F(1,68) = .43, p = .51$, Section 4: $F(1,68) = 1.53, p = .22$)。次に、主効果において有意差があったのは Section 4 (具体情報の聞き取り) における調査時期 (事前・事後) であり ($F(1,68) = 8.75, p = .00$)、多重比較の結果、事前テストよりも事後テストの得点が上昇していることがわかったが、その他の調査時期とグループに統計的有意差はなかった (「調査時期」: Section 1: $F(1,68) = 1.18, p = .28$, Section 2: $F(1,68) = .17, p = .68$, Section 3: $F(1,68) = .04, p = .85$ 、「グループ」: Section 1: $F(1,68) = .69, p = .41$, Section 2: $F(1,68) = .18, p = .67$, Section 3: $F(1,68) = .88, p = .35$, Section 4: $F(1,68) = 1.36, p = .25$)。以上の結果から、事前測定時よりも事後測定時の Section 4 に成績の上昇がみられるものの、海外短期語学研修に参加したことで、成績が向上したと言及することはできず、英語コミュニケーション能力の向上に海外短期語学研修は有効であると結論づけるには至らないことがわかった。

5.2 実験 2 英語力の変化測定その 2 「スピーキング」

CASEC で測定を試みた実験 1 では、語学研修に参加することの有効性を具体的な数値で示すに至らなかった。しかしながら海外語学研修に 2 週間参加しただけでは本当に英語力が向上しないのか? これまでに筆者は、学生の語学研修に同行して研修期間中の学生の様々な変化を観察してきたが、研修開始直後と比べて、研修後半になると学生のスピーキング能力がわずかながらも向上しているように感じていた。しかし、実験 1 で測定に使用した CASEC ではスピーキング能力を直接的に測定できておらず、スピーキング能力に変化があるかはわからなかった。そこで実験 2 で

は、実験 1 の翌年実施の語学研修参加者にスピーキング・タスクを課し、研修前後でスピーキング能力に変化が起こるかを検証した。尚、スピーキングの分析には通常、流暢さ・正確さ・複雑さなどを検証するが (e.g., Ellis & Barkhuizen, 2004)、その中でも学生の「流暢さ」の向上を最も顕著に感じていたため、分析は「流暢さ」のみに焦点を当てた。

5.2.1 被験者

被験者は本科生 24 名 (2 年生 18 名、3 年生 6 名)で、そのうちシドニー語学研修参加者は計 18 名 (男子 15 名、女子 3 名)で、ロトリア語学研修参加者は計 6 名 (男子 4 名、女子 2 名)である。第一言語が日本語以外の者、英語圏からの帰国子女はいない。ロトリア語学研修参加者の 6 名のうちの 4 名は前年度のシドニー語学研修にも参加者した。

5.2.2 スピーキング・タスク詳細

スピーキング・タスクに関する先行研究と語学研修の特性を踏まえ、本実験ではスピーキング・テストで一般的である面接官とのやりとりではなく被験者同士のインタラクション・タスクを設定した。ランダム作成した 3 名 1 組のグループは、family, school, hobby の中からトピックが一つ与えられ、3 人で 5 分間自由に会話するように指示された。被験者には他の 2 人とは一切相談せずに 5 分間各自で事前準備する時間が与えられ、ウォーム・アップとしてそれぞれが自己紹介した後、与えられたトピックについての 5 分間の自由会話が録画された。事前準備時間を 5 分間与えたのは、第二言語学習者の限られた言語処理能力の負担を軽減する一助とする (Skehan, 1995) ためである。また、トピック選定に際しては、語学研修期間中に繰り返し経験しうるのであろう「店での応答」「自己紹介」「あいさつ」などは敢えて避け、Common European Framework of Reference (Council of Europe, 2001)で使用されているトピックや、グループ内での動的相互交渉 (dynamic interaction) においてはトピックの違いは大きな要因とはならない (Van Moere, 2006) との報告などを参考に 3 つを設定した。

5.2.3 手順

事前測定は研修開始 3 日前、事後測定は研修終了 14 日後に行い、両測定には約 1 か月の間隔を設けた。

無作為に 3 名ずつのグループに分けられた被験者たちをグループ毎に別室に移動させ、個別に調査内容についての説明を行った後にスピーキング・タスクを課した。測定内容が漏れて不公平にならないよう、測定が終了した学生が終了していない学生と絶対に接触しないよう配慮した。

事後測定は、グループ・メンバー及び各グループに与えたトピックは事前測定と同一のものとした。これにはタスクの練習効果が考えられたが、事前測定と事後測定には 30 日以上の間隔があること、事前準備ができないよう、事後測定を行うこと自体を一切知らせず、また測定は抜き打ちで行ったことから、測定の精度は保てると判断した。

5.2.4 分析方法

スピーキング・テストは通常、トレーニングを受けた一

人または複数の評定者が、流暢さ・複雑さ・正確さなどの下位項目ごとに5段階程度で点数をつけるなどして評価することがほとんどである。この評価方法は評定者の主観的判定によるものであるが、評定者が適切なトレーニングを積むことで測定の信頼性や妥当性が確保される。一方で、特に研究の分野では、発話データを文字化し、言い淀みの回数、言い直しの頻度などの「躊躇現象」や、発話スピードなどの「時間的な変数」を計測することにより、言語データを客観的数値に変換して評価する方法が好まれることも多い。これにより主観的判断による評価の誤差等を避けることが可能となり、客観的なデータを示すことができる。

本実験では先行研究や実験の性質を考慮し、Ellis and Barkhuizen (2004); Kormos and Dénes (2004); Skehan and Foster (1999) を参考に、被験者の発話を数値化することによる「流暢さ」の客観的な評価方法を採用した。また、3名による自由会話タスクの特性を考慮した上で、分析項目は以下の2観点の計6項目(a)~(f)とした(具体例等の詳細は大塚・根岸 (in press) 参照)。

(1) Hesitation phenomena (躊躇現象)

- (a) Repetitions (Rep.), (b) False starts (F.S.),
(c) Reformulations (Ref.), (d) Replacements (Repl.)

各被験者の全発話語数における(a)~(d)の発生率で表し、研修前後で比較する。これらの数値は減少するほど「流暢さ」が向上することを意味する。

(2) Temporal variables (時間的な変数)

- (e) Phonation time ratio (P.T.R.), (f) Articulation rate (A.R.)

尚、(e) P.T.R.とは、与えられた5分間において一人の被験者が発話した時間の割合であるが、今回の分析では各発話に含まれる0.2秒以上のポーズは発話時間から除外することとした。(f) A.R.は、1分あたりの平均 syllable (音節) 数であり、発話スピードの一種である。(e)及び(f)は、値が増加することが「流暢さ」の向上を意味する。

5.2.5 結果と考察

表2はhesitation phenomenaの変化、表3はtemporal variablesの変化の集計結果である。また、図1はtemporal variablesの変化を図式化したものである。事前事後測定時双方とも、与えられた5分間を途切れなく最後まで話し続けられたグループは皆無であり、3人とも発話しない状態 (long silent pause) が目立った。したがって、ある特定の被験者が絶え間なく発話し続けることに伴って他の被験者の発話が制限されてしまう現象は生じていない。

まず、hesitation phenomenaの4項目における事前事後間の統計的な有意差を調べるため、*t*検定を行った。尚、数値は比率データであるため、全て角変換した後に分析した。結果は以下のとおりである。repetitions: $t(23) = -1.33, p = .20ns$, false starts: $t(23) = -1.35, p = .19ns$, reformulations: $t(23) = -1.86, p = .08ns$, replacements: $t(23) = -1.13, p = .27ns$ 。4項目とも出現比率は上昇したが、統計的有意差はなかった。次に、temporal variablesの2項目について、phonation time ratioは角変換後に*t*検定を、articulation rateはWilcoxonの符号付き

表2 Hesitation Phenomena の変化

		総語数	Rep.	F.S.	Ref.	Repl.
前	M	76.33	2.11	1.43	1.14	0.27
	SD	42.45	2.42	1.42	1.41	0.64
後	M	108.67	2.50	2.09	1.94	0.38
	SD	45.26	1.82	2.16	2.20	0.73

Note. $N = 24$, 全て比率データ(%)である

表3 Temporal Variables の変化

		総発話秒数	P.T.R.	A.R.
前	M	37.65	12.55	24.62
	SD	27.09	9.03	10.44
後	M	131.88	43.96	36.33
	SD	51.29	17.1	10.75

Note. $N = 24$, P.T.R. = %

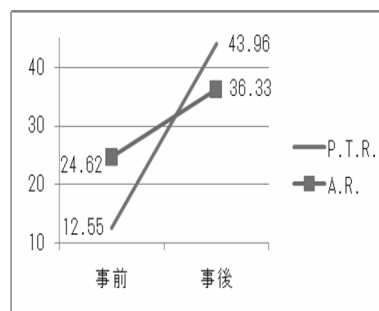


図1 Temporal Variables の変化

順位検定を施して分析した。結果は以下のとおりである。phonation time ratio: $t(23) = -10.21, p = .00$, articulation rate: $z = -3.37, p = .00$ 。この結果から、temporal variablesには明らかな向上が見られ、語学研修に

参加したことにより、事前測定時よりも長時間英語で自己表現ができるようになり、更に発話のスピードも上がったことが明らかとなった。CASECを測定具として行った実験1では研修に参加した学生の英語力の向上は示せなかったが、スピーキング・タスクを用いた実験2では海外短期語学研修に参加することでスピーキング能力のうちの「流暢さ」が大きく向上することから、研修が英語力へ与える正の効果を証明できたとと言える。

5.3 実験3 情意要因の変化測定 「不安の変化」

学習者の情意要因には様々な指標があるが、本実験では「不安の変化」に着目し、「英語使用不安」及び「英語授業不安」を測定することとした。項目はKondo (2005) で使用された20項目を基に因子分析を行い、被験者に対する測定の精度を高めた大塚 (2007) で用いられた19項目を使用した。中間値を廃した「全然そうは思わない」から「非常にそう思う」の6件法で測定された英語使用不安及び英語授業不安は、各項目が高得点であるほど不安が高いことを表すよう1点~6点の得点が与えられ、それぞれ英語使用不安得点(最小9点、最高54点)、英語授業不安得点(最小10点、最大60点)とした。19項目中9項目が英語使用不安尺度で5項目が逆転項目、残りの10項目が英語授業不安

尺度で、同様に5項目は逆転項目とした。

5.3.1 被験者

本科2年生69名(男子53名、女子16名)。そのうちシドニー語学研修非参加グループは計34名(男子30名、女子4名)で、シドニー語学研修参加グループは計35名(男子23名、女子12名)である。第一言語が日本語以外の者、英語圏からの帰国子女及び14日間を超える英語圏への語学研修経験者はいない。

5.3.2 手順

事前調査は語学研修開始3週間前に、事後調査は研修終了3週間後に行われた。また、5か月後調査は、研修から5か月後に実施した。

5.3.3 両群の等質性検証

t 検定を用いた研修開始前の両グループの英語使用不安と英語授業不安の等質性検証の結果、両側検定において有意差は見られず(英語授業不安: $t(68) = .20, p = .85$, 英語授業不安: $t(68) = .58, p = .56$)、非参加グループも参加グループも研修前における不安感に違いがないことが証明された。

5.3.4 結果と考察

表3は、各グループにおける事前調査・事後調査・5か月後調査の平均値と標準偏差であり、図2と図3は数値をグラフ化したものである。

5.3.4.1 英語使用不安の比較

混合計画の分散分析の結果、調査時期とグループ間に交互作用が見られた($F(2, 134) = 7.76, p = .00$)。交互作用が有意であったことから、単純主効果の検定を行った。その結果有意差が認められたのは事後調査時におけるグループ

表3 非参加・参加グループの不安得点

		非参加		参加	
		M	SD	M	SD
英語使用不安	事前	36.7	8.1	36.4	8.0
	事後	35.9	4.4	33.7	4.3
	5ヶ月後	39.2	7.7	31.6	7.9
英語授業不安	事前	36.5	10.0	35.3	8.5
	事後	38.8	5.9	36.3	3.6
	5ヶ月後	37.9	7.9	32.8	8.1

Note. $n =$ (非参加: 34, 参加: 35), 満点= (英語使用不安: 54, 英語授業不安:

60), 最小= (英語使用不安: 9, 英語授業不安: 10)

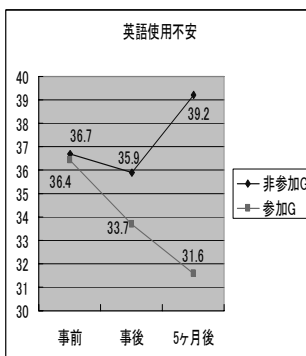


図2 英語使用不安得点の変化

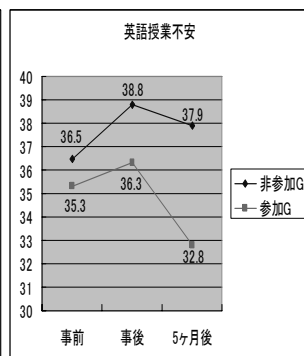


図3 英語授業不安得点の変化

間($F(1,67) = 4.45, p = .04$)と、5か月後調査時におけるグループ間($F(1,67) = 16.27, p = .00$)であった。更に、参加グループの事前調査時と5か月後調査時にも有意差が認められた($F(2,66) = 8.45, p = .00$)。

以上の結果から、語学研修に参加した学生は事後調査時と5ヶ月後調査時の双方で、非参加学生よりも英語使用不安を減少させており、更に事前調査時と5か月後調査時間に、有意に英語使用不安を減少させていることがわかった。

5.3.4.2 英語授業不安の比較

混合計画の分散分析の結果、調査時期とグループ間に交互作用は見られなかった($F(2, 134) = 1.82, p = .17$)。調査時期における単純効果検定では、参加グループにのみ有意差が見られ($F(2, 66) = 4.48, p = .02$)、多重比較によるペアごとの比較では、事後調査時と5か月後調査時間に有意差が認められた。また、事後調査時におけるグループ間に.05水準で有意差が($F(1, 67) = 4.59, p = .04$)、また5か月後調査時におけるグループ間には.01水準の有意差が認められた($F(1, 67) = 7.12, p = .01$)。

以上の結果から、シドニー語学研修に参加した学生は事後調査時と5か月後調査時の双方で、非参加学生よりも英語授業不安を減少させており、更に事後調査時から5か月後調査時間に、有意に英語授業不安を減少させていることがわかった。

6. 実験結果のまとめ

本研究では、3つの実験を通して茨城高専における海外短期語学研修の言語学的教育効果測定を行った。

実験1では、CASECを測定具として語学研修に参加することの効果測定を試みたが、参加学生のみに見られる成績の向上は現れず、語学研修の有効性を証明するに至らなかった。しかしながらスピーキング・タスクを課した実験2では、語学研修参加学生に著しい「流暢さ」の伸びが認められ、語学研修に参加することで英語のスピーキング能力を構成する一要素が向上することが証明された。また、実験3で行った不安の検証では、語学研修参加学生には不安の減少が一切起こらないのにもかかわらず、参加学生は研修終了後には不安を減少させており、その減少が研修5か月後にも見られたことは、海外語学研修が不安の減少に与える効果が一時的なものではないことを示唆している。

以上の結果から、茨城高専において実施している海外語学研修は、英語スピーキング能力向上に効果があるだけでなく、語学学習を促進しうる学習者の情意要因に肯定的な変化をもたらしていると結論づけたい。

7. 今後の課題

実験3の結果により、英語使用不安・英語授業不安の減少が一過性のものではないことが明らかになったが、更に調査時期を延長することで新たな発見の可能性もある。

実験2のスピーキングの「流暢さ」の向上は研修終了2週間後時点であり、その後の実験を行っていないため能力向上が維持されるか等は分かっていない。今後は不安感調査と同様に調査時期を延長したい。またコントロール・グループを設定し、更に詳しく比較実験も行いたい。

今回の研究を通して、茨城高専が主催する語学研修の教育効果を証明できたことは大きな成果である。その一方で、語学研修の主催者側として、研修の教育効果を更に上げるための学生支援体制に改善の余地があることにも気付かされた。2.3 で述べた通り、茨城高専の海外短期語学研修は実質的に単発事業となっている。本研究により現行プログラムの教育効果は一先ず証明できたものの、語学研修と通常授業に連携がないことや、事前研修で英語のトレーニングが行われていないこと、また帰国後の事後指導がないことなどは、学生の英語力の更なる向上や維持、不安感の減少などに貢献しているとは言い難い。

本研究の3つの実験の後、筆者は2008年9月に再び引率者としてシドニー語学研修に同行した。その際、研修参加が英作文能力に与える影響を測定目的とし、参加者全員に英語と日本語で日記（参考資料参照）を毎日書かせたほか様々な形式のインタビューを行った。それらの分析の過程で、本来の収集目的である英作文データとは別に、今後の語学研修のあり方を考えさせられる学生からの貴重な声が集められていたことに気がついた。

日記やインタビューの中で複数の学生が、研修中に“使える”会話表現を事前に勉強しておきたかったと述べていた。ほぼ全員が、英語しか通じない環境に触れたことで日ごろの英語学習の努力不足を痛感し、非常に高い英語学習意欲を示していた。また、毎日の異文化体験を通じて自らの成長を実感できている学生がいた一方で、語学学校での授業に困惑している学生や、街中やステイ先で自分の英語が通じないことに過度に悲観的になっていた学生がいたことも分かった。また、ホスト・ファミリーや外国人、更に訪問国に対して、偏見や誤解を抱いてしまっている例も複数観察された。しかしながら、こうした学生の姿は現状の研修実施体制では特にとりあげられる機会がなく、語学研修プログラムの改善に役立てられているとは言い難い。しかし、語学研修の主催者である学校は、学生の反応を適切に調査しそれらを活用することで、学生に生じる問題の解決を支援すること、学生の学習を促進させることが求められるはずである。また、語学研修を単発事業に終わらせることなく、渡航前から帰国後を通じた長期的な学習の機会と捉え、学生の成長を支援する体制を整備することがより教育的ではなからうかとも思う。今後は、事前・事後研修を充実させ、継続的な学習機会の提供が効果的ではないか。筆者は現在、語学研修の企画・運営に直接携わる身ではないが、本研究と同様の実験結果を報告し続けること、また学生の声や学術的に分析し、それを発表することで、今後の語学研修プログラム改善を、また勤務校全体の教育改善を支援するために研究を続けたい。

謝辞

実験2は、早稲田大学の根岸純子先生との共同研究である。実験準備から結果分析の細部にわたるご助言とご指摘に、心から感謝の意を表したい。

参考文献

- Aida, Y. (1994). Examination of Horwitz, Horwitz, and Cope's construct of foreign language anxiety: The case of students of Japanese. *Modern Language Journal*, 78, 155-168.
- Clement, R., & Kruidenier, B. G. (1983). Orientations in second language acquisition: I. The effects of ethnicity, milieu, and target language on their emergence. *Language Learning*, 33, 279-291.
- Council of Europe. (2001). European language portfolio. Retrieved March 7, 2008, from www.coe.int/portfolio
- Ellis, R. (1994). *The study of second language acquisition*. New York: Oxford University Press.
- Ellis, R. & Barkhuizen, G. (2005). *Analysing learner language*. New York: Oxford University Press.
- Ellis, R. & Rathbone, M. (1987). The acquisition of German in a classroom context. *Mimeograph*. London: Ealing College of Higher Education.
- Freed, B. F. (1995). What makes us think that students who study abroad become fluent? In B. F. Freed (Ed.), *Second language acquisition in a study abroad context* (pp. 123-148). Amsterdam: John Benjamins.
- Harley, B., & Hart, D. (2002). Age, aptitude, and second language learning on a bilingual exchange. In P. Robinson (Ed.), *Individual differences and instructed language learning* (pp. 301-330). Amsterdam: John Benjamins.
- Horwitz, E. K., Horwitz, M. B., & Cope, J. (1986). Foreign language classroom anxiety. *Modern Language Journal*, 70, 125-133.
- Kondo, Y. (2005). A study on language anxiety: The measurement and the effects in the case of Japanese learners of English. Unpublished master's thesis, Waseda University, Tokyo, Japan.
- Kormos, J., & Dénes, M. (2004). Exploring measures and perceptions of fluency in the speech of second language learners. *System*, 32, 145-164.
- MacIntyre, P.D. & Gardner, R.C. (1991). Methods and results in the study of anxiety and language learning: A review of the literature. *Language Learning*, 41, 85-117.
- Sasaki, M. (2007). Effects of study-abroad experiences of EFL writers: A multiple-data analysis. *Modern Language Journal*, 91, 602-620.
- Segalowitz, N., & Freed, B. F. (2004). Context, contact, and cognition in oral fluency acquisition. *Studies in Second Language Acquisition*, 26, 173-199.
- Skehan, P. (1995). Analysability, accessibility, and ability for use. In G. Cook & B. Seidlhofer (Eds.), *Principle and practice in applied linguistics*. Oxford, England: Oxford University Press.
- Skehan, P., & Foster, P. (1999). The influence of task structure and processing conditions on narrative retellings. *Language Learning*, 49, 93-120.
- Van Moere, A. (2006). Validity evidence in a university group oral test. *Language Testing*, 23, 411-440.
- Young, D. (1986). The relationship between anxiety and foreign language oral proficiency rating. *Foreign Language Annals*, 19, 439-445.
- 大塚賢一. (2007). 「短期語学研修は学生を変えるか? : 英語力と学習不安に関する調査からの検証(予備調査)」、『茨城工業高等専門学校研究彙報』42, 29-36.
- 大塚賢一. (2008). 「2週間の海外語学研修が学生の英語コミュニケーション能力と英語学習不安に与える影響とその期間」. 『関東甲信越英語教育学会研究紀要』22, 35-46.
- 大塚賢一・根岸純子. (in press). 「2週間の海外短期語学研修がスピーキングの fluency に与える効果及び fluency と英語使用不安・英語授業不安との関係」. 『関東甲信越英語教育学会研究紀要』23
- 木村啓子. (2008). 「短期語学研修が学習ストラテジーと英語力に及ぼす影響」. 『第34回全国英語教育学会東京研究大会発表予稿集』296-297.
- 八島智子. (2003). 「第二言語コミュニケーションと情意要因『言語使用不安』と『積極的にコミュニケーションを図ろうとする態度』についての考察」. 『外国語教育研究』5, 81-93. 関西大学外国語教育研究機構.
- 横川博一・藪内智・鈴木正紀・森下美和. (2006). 「日本人英語学習者の発話における使用語彙分析と発話潜時: 海外語学研修参加者の発話データに基づく分析」. 『電子情報通信学会技術研究報告』106, 13-18.

化学気相輸送法で作製した β -FeSi₂ 単結晶の光学特性

原 嘉昭, 中岡 鑑一郎

Optical properties of β -FeSi₂ single crystals grown by chemical vapor transport method

Yoshiaki HARA and Kanichiro NAKAOKA

Abstract: We measured the optical absorption and the photoluminescence (PL) of β -FeSi₂ single crystals which were fabricated by chemical vapor transport method in various growth conditions. As a result, the characteristic 0.8 eV-PL bands of β -FeSi₂ thin films were not observed in our single crystals. However, we found new two absorption peaks and new two PL lines in the fundamental absorption edge at low temperature. The samples which were measured in this study were classified in two groups according to the absorption peak energy. In Type1 samples, the narrow absorption peak was observed at 0.858 eV and the two PL lines were accompanied in 0.737 and 0.717 eV. On the other hand, Type2 samples show the absorption peak at 0.909 eV which is near the direct band gap energy of β -FeSi₂. By clarifying the origins of newly found absorption and PL, the new information about the band structure of this material will be obtained.

1. はじめに

鉄とシリコンの化合物であるベータ鉄シリサイド (β -FeSi₂) は、豊富な資源と環境負荷の低さを特徴とする半導体である。シリコン基板上に作製された β -FeSi₂ 薄膜からは、低温において 0.8 eV 付近に比較的強いブロードな光励起発光 (Photoluminescence: PL) が観測され¹⁾、近赤外の受光・発光素子への応用を目指して精力的に研究されている。しかし、既に応用されている InGaAsP 系の材料を凌駕する特性は未だ得られておらず、 β -FeSi₂ を用いた実用的なデバイスの実現の目処は立っていない。このことは β -FeSi₂ の本質的な物性による限界なのか、または作製方法により改善の余地があるのか、明らかにする必要がある。

β -FeSi₂ の本来の物性を明らかにするためには、良質な単結晶が必要不可欠である。金属溶媒中で作製される β -FeSi₂ 単結晶の物性は、茨城大学の鶴殿らによって精力的に調べられている²⁻⁴⁾。しかし、比較的良質な単結晶が得られるとされている化学気相輸送法 (Chemical vapor transport method: CVT 法) で作製された β -FeSi₂ 単結晶については、電気的特性は Arshinov らのグループ⁵⁾ や近年の大塚らによる興味深い報告^{6,7)} があるが、光学的特性の報告はあまり多くない。その理由の一つとして、CVT 法により得られる結晶は針状であり、光学測定に十分なサイズが得られにくいことが挙げられる。

近年我々は、CVT 法の育成条件の最適化により、幅 1mm、長さ数 mm 程度の比較的大きな板状の単結晶が得られることを見出した⁸⁾。そこで、これらの試料に対して光吸収測定および光励起発光の測定を行った。その結果、薄膜では観られる 0.8 eV 付近の PL 発光は、どの単結晶試料からも観測されなかった。しかし、別のエネルギーに、これまで

報告のない吸収のピークが観測された。また、測定した試料は、観測される吸収ピークのエネルギーにより、二種類のタイプに分類されることが分かった。その一つは、0.858 eV に鋭い吸収線が観測される (Type1 と呼ぶ)。さらに、Type1 の試料は、低温において、0.717 と 0.737 eV に鋭い 2 本の PL 発光線も観測される。もう一つは、この物質の直接バンドギャップエネルギーに近い 0.909 eV に吸収ピークが観測される (Type2 と呼ぶ)。 β -FeSi₂ 単結晶から明瞭な発光や吸収ピークが観測された報告はこれまでになく、これらの起源を明らかにすることで、この物質のバンド構造に関する新しい知見が直接得られるものと考えている。

2. 実験方法

Fig.1 に本研究で用いた光学測定システムの模式図を示す。吸収測定では、近赤外領域に構造の少ないタングステンランプを入射光源として用い、チョッパーを介して試料へ照射した。試料の透過光は、可視光カットフィルタ (IR-LPF) を通して、分光器 (日本分光、ブレイズ波長 1.0 μ m,

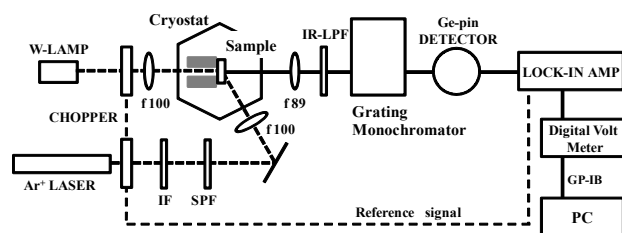


Fig.1 Block diagram of optical measurement system.

Table 1 List of the samples which were measured in this study and the summary of the results for optical measurements.

Sample No.	Ampoule No.	Source	Doping	Absorption		PL	Group
				0.858eV	0.909eV	0.737eV 0.717eV	
AP84-2	84	Fe(5N):Si(5N)=1.2:2.0	non	○		○	Type1
AP84-3				○		○	
AP84-5				○		○	
AP84-6				○		(not measured)	
AP86-1	86	Fe(5N):Si(5N)=1.2:2.0	Cu 90mg	○		weak	
AP63-2	63	Fe(4N8):Si(5N)=1.2:2.0	non		○	(not measured)	Type2
AP63-3					○	very weak	
AP65-1	65	Fe(4N8):Si(5N)=1.6:2.0	non		○	×	

600 本/mm) へ入射させ、分光した光を Ge-pin 検出器 (EDINBURGH INST. EI-L, Liq N₂ 冷却) で検出する。検出器の出力は、ロックインアンプで増幅し、直流出力をデジタルボルトメーターで計測し、GP-IB を介してパソコンへ取り込んだ。PL 測定では、Ar イオンレーザーの 514.5nm, 200mW の光を、チョッパーを介し、干渉フィルタ (IF), ショートパス (熱線吸収) フィルタ (SPF) を通して試料へ照射した。PL 発光の検出系は、光吸収測定と同じである。

試料はおおよそ 7 K まで冷却可能な、He 冷凍機クライオスタット (岩谷ガス, ミニスタット) を用いて、温度を変化させた。通常 β -FeSi₂ の光吸収測定では、光吸収係数 α が大きいことから、試料を数十 μm 程度以下に研磨して行われるが、今回は、研磨によるダメージを避けるため、フッ硝酸 (HF(46%):HNO₃(60%):H₂O=1:1:4) による試料表面のエッチングのみを施し研磨を行わなかった。試料の厚さは数百 μm 程度であるが、試料全体にわたり均一ではないため厚さの正確な評価が困難である。そこで、吸収係数 α の絶対値の評価は行わず、入射光強度 I_0 と試料からの透過光強度 I_s の比から求めることができる光学密度 (optical density; $OD = \log(I_0/I_s)$) により吸収スペクトルを評価し、吸収係数の低い基礎吸収端付近の構造に注目した。また試料サイズが非常に小さいため、光吸収測定では、試料幅以下の直径 0.3~0.75mm ϕ の穴を開けた Al 板上に試料を固定し、試料からの透過光のみを検出できるようにした。

測定を行った試料は、2007 年 12 月に作製したアンプル番号 84, 86 で得られた試料と、2005 年 10 月に作製したアンプル番号 63, 65 から得られた試料について行った。Table1 に測定した試料の一覧を示す。

3. 実験結果

前述の通り、今回測定した試料の光吸収特性および PL 特性は、異なる二つのタイプに分けられることが分かった。以下、それぞれのタイプごとに測定結果を示す。また、本研究で測定したすべての測定結果について、Table1 にまとめて記した。

3.1 Type1 の単結晶

ここでは、試料名 AP84-3 の測定結果を代表例として示す。Fig.2 の挿入図は、7.4 K における試料の透過スペクトルを示す。0.7 から 0.8 eV での透過光強度の立ち上がりは、Ge 検出器の感度によるものである。0.8 eV 以上では試料を透過する光は急激に弱くなり、およそ 0.9 eV でほとんど透過しなくなる。このような透過光強度の光エネルギー依存性は、この材料のバンドギャップエネルギーを反映したものであり、既に報告がある⁴⁾。しかし、0.858 eV に、これまで報告されていない非常に鋭い吸収が観られた。Fig.2 は、透過光と入射光の強度比から算出した光学密度 OD のスペクトルである。基礎吸収端付近に明瞭な吸収線があることが分かる。Fig.3 に、この吸収ピークの温度変化を示す。吸収スペクトルは、およそ 20K までは変化しないが、それ以上の温度では若干のレッドシフトを示し、またスペクトルはブロードになり、150 K 以上で完全に観測されなくなった。

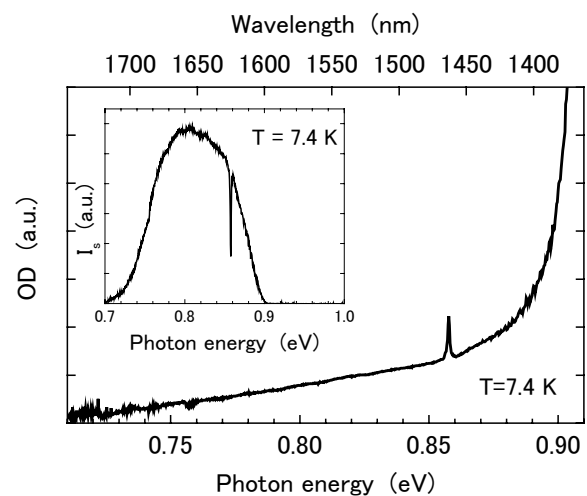


Fig.2 Optical density as a function of photon energy at $T=7.4\text{K}$. Photon energy dependence of the intensity of transmitted light (inset).

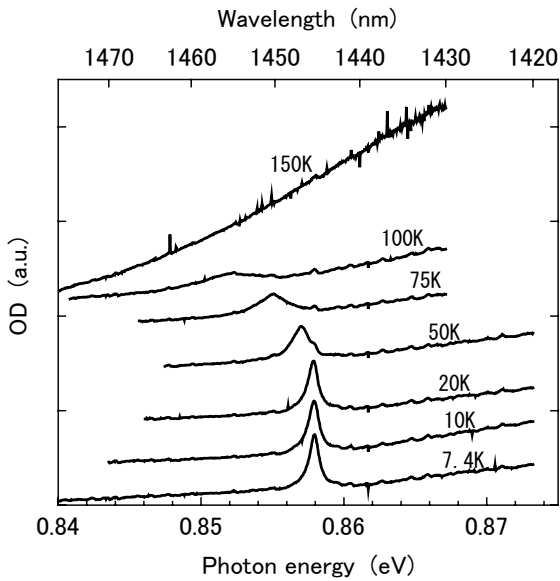


Fig.3 Temperature dependence of the absorption line in the fundamental absorption edge.

Fig.4 に PL 測定の結果を示す。当初は、 β -FeSi₂ 薄膜で観られる 0.8 eV 付近のブロードな発光に着目したが、測定したすべての試料においてそれに対応する発光を見出すことができなかつた。単結晶の β -FeSi₂ において、0.8 eV 付近に PL 発光が観測されたとの報告⁴⁾も数件あるが、いずれも薄膜試料からの発光に比べ強度が著しく弱く、SN 比がきわめて悪いいため明瞭な発光と同定することは難しい。そこで、より広い波長範囲に亘って測定したところ、0.717 eV と 0.737 eV に 2 本の発光線が観測された。これらの発光の半値幅は約 1.5 meV と非常に鋭い。これらの PL 発光線は温度の上昇とともに弱くなり、0.717 eV のピークは 30 K で、0.737 eV のものは 60 K で完全に消光した。

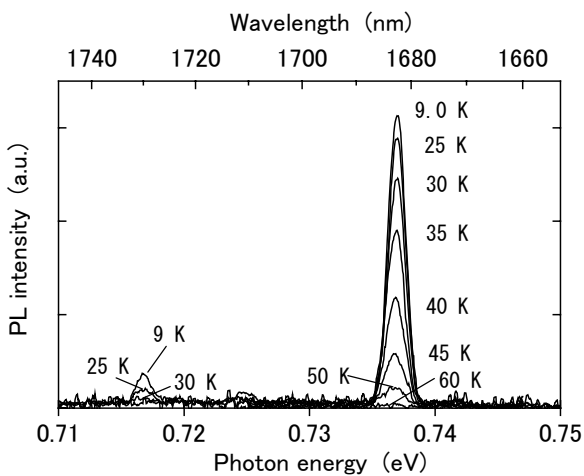


Fig.4 Photoluminescence at 0.717 and 0.737 eV from AP84-3 β -FeSi₂ bulk crystal.

3.2 Type2 の単結晶

試料名 AP65-1 の測定結果を代表例として示す。Fig.5 に 7.8 K における光学密度 OD の温度依存性を示す。Type1 の単結晶で鋭い吸収線が観測された 0.858 eV 付近には全く構造が観られなかつたが、Type1 では存在しなかつた 0.909 eV に吸収のピークが観測された。Type1 で観られた 0.858 eV の吸収ピークに比べ、Type2 の単結晶の吸収のピークは若干ブロードであり、その半値幅はおよそ 5 meV 程度である。この吸収ピークのエネルギーは、温度の上昇にともない、40 K 以上から若干のレッドシフトを示し、140 K で観測できなくなつた。

一方、PL 測定の結果、Type1 の単結晶で発光が観られた 0.717 eV と 0.737 eV のエネルギーにおける鋭い発光は観られなかつた。同様に 0.909 eV に吸収ピークが観測された試料 AP63-2 では、0.737 eV にきわめて弱い発光が観られた。しかし、その発光強度は Type1 の単結晶に比べて著しく弱い。

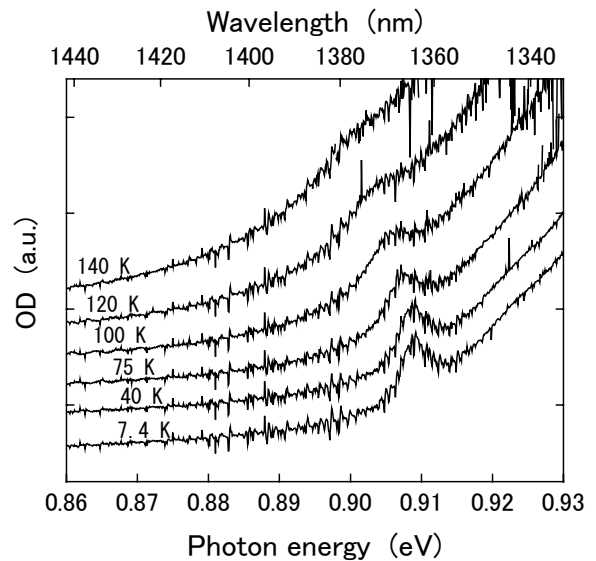


Fig.5 Temperature dependence of the absorption peak in the fundamental absorption edge for AP65-1 β -FeSi₂ bulk crystal.

4. 考察

β -FeSi₂ 単結晶を用いた吸収測定は、これまで茨城大学の鶴殿らにより、金属溶媒中で作製された単結晶を研磨加工した試料に対する報告があるのみであり、吸収や発光スペクトルにおいて鋭い構造は見出されていない。彼らは、光吸収係数 α の光子エネルギー依存性から、直接バンドギャップ E_g^d および間接励起子エネルギー E_{gx} を求めた。Fig.6 は、鶴殿ら が得た、直接バンドギャップエネルギー

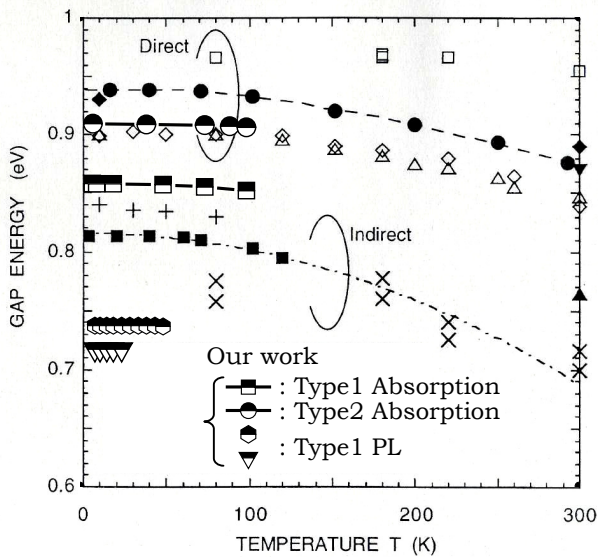


Fig.6 Comparison with the characteristic energies which were obtained in this study and the energies which were determined from another researchers.

(●) および間接励起子エネルギー (■) の温度依存性、および他の研究者による β -FeSi₂ 薄膜によるそれらの測定結果をまとめたものである。図は鶴殿らの文献⁴⁾より転載させていただいた。また、今回我々が得た Type1 および Type2 の吸収線のピークのエネルギー、および Type1 で観られた発光線のエネルギーの温度依存性を比較のため重ねて記した。まず、Type2 の吸収ピークが、 β -FeSi₂ の直接バンドギャップエネルギーの近傍にあることが着目される。また、その吸収ピークのエネルギーが温度とともに若干のレッドシフトを示していることから、バンド構造を反映した吸収ピークであると考えられる。これらのことから、この吸収ピークは、 β -FeSi₂ の直接自由励起子による吸収の可能性が示唆される。120 K 付近まで吸収ピークが観測されることから、直接自由励起子の結合エネルギー R_{FX} はおよそ 10 meV 程度であると見積もることができる。

一方、Type1 で観測された吸収線のエネルギーは 0.857 eV であり、これまで報告されている直接バンドギャップエネルギーと間接バンドギャップエネルギーの間に位置する。そこで、この吸収ピークは、不純物や格子欠陥などに束縛された励起子による可能性がある。一方、0.717 eV と 0.737 eV の PL 発光線は、その鋭さから 0.857 eV の吸収のピークと関連があると考えられるが、ストークスシフトのエネルギーとしてはやや大きく、今のところ、その起源は明らかでない。

これまで、この物質の間接バンド構造に関しては、前田らを中心とする PL 発光のエネルギー¹⁾、および、鶴殿らによる間接バンドギャップエネルギー付近でのフォノンの構造⁴⁾、さらに両氏によるラマン散乱⁹⁾の結果などから調

べられている。しかし、この物質の直接バンド構造についての実験的な情報は少ないのが現状である。今回の我々の結果は、この物質の直接バンド構造に関する具体的な情報をもたらすものと考えている。しかし、今回得られた吸収および発光の起源については未だ可能性の段階であり、今後、詳細な実験によりその起源を明らかにする必要がある。例えば、今回の吸収が直接励起子によるものであれば、磁場下において、励起子のエネルギーが磁場の二乗で増加する反磁性シフトが観測されるはずである。一般にこれらの変化は小さいため、現在、パルス強磁場下での測定に向け、準備を進めている段階である。

5. まとめ

化学気相輸送法でも比較的大きな結晶が得られるようになっており、光学測定が可能になってきた。本報告では、化学気相輸送法により得られた β -FeSi₂ バルク結晶に対する光吸収測定および PL 測定において、初めて見出された発光および吸収線について報告した。これらの吸収は直接バンドギャップの構造を反映した励起子による可能性がある。今後、さらに多くの試料の測定を行うとともに、強磁場下での測定を行うことで、これらの吸収、発光の起源を明らかにしたい。

謝辞

研究費のご援助をいただいた(財)材料科学技術振興財団(MST)に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Y.Maeda: Applied Surface Science **254**(2008)6242-6247.
- 2) H. Uono et al: Journal of Crystal Growth **237-239** (2002)1971-1975.
- 3) H. Uono et al: Jpn.J.Appl.Phys. **41**(2002)L583-L585.
- 4) H. Uono et al.:Thin Solid Films **461**(2004)182-187.
- 5) E. Arshanov et al. : Phys. Rev. B **50**(1994) 2653-2656. など
- 6) T. Ootsuka et al.: Appl. Phys. Lett. **92**, 042117(2008).
- 7) T. Ootsuka et al.: Appl Phys. Lett. **92**, 192114(2008).
- 8) Y. Hara et al.: Thin Solid Films **515**(2007)8259-8262.
- 9) Y.Maeda et al.:Thin Solid Films **461**(2004)165-170.

金属及びセラミック系超伝導体に関する一般的熱伝導率モデルの研究

根本 栄 治

A study of general thermal conductivity model of temperature function on metallic and ceramic superconductors

Eiji NEMOTO

Abstracts:

In order to use the superconductivity efficiently, the structure of thermal conductivity and its thermal characteristics of the superconductors need to be known in detail. Authors surveyed the structure of the thermal conductivity for the metallic alloy superconductors (isotropic materials), the anisotropic high-temperature oxide superconductors, and researched for the temperature dependency function of thermal conductivity on the superconductive region. Generally, the superconducting electrons and the normal state conduction electrons flow as a two-fluid in a superconductive state. Then, we assumed that the electrons flow as the two-fluid of electrons independently in the three-dimensional structure space of the superconductors, and thought that the heat conduction phenomenon was governed by the two-fluid model. The thermal conductivity of the isotropic metallic and the anisotropic oxide ceramic superconductors is obtained by multiplying the thermal conductivity function of normal conducting state directly by Heisenberg's thermal conductivity function. The heat conducting model of the three-dimensional anisotropic superconductors in superconducting state is corresponding well to the experiment results of actual measurement for the isotropic metallic alloy superconductors and the anisotropic high temperature oxide superconductors. We found the thermal conductivity function of our superconductor led from Heisenberg's thermal conductivity function and BRT function being able to be used enough as a thermal conductivity function of a general superconductor on practical use. The thermal conductivity function of the anisotropic thermal conductivity model that we proposed can be used as a thermal conductivity function of the three-dimensional anisotropic material in a general superconducting state. The leverage theory can be submitted by thinking that our theory concerning this thermal conductivity is the one that became basic of the thermal conductivity research on all superconductors in the future.

1. Introduction

In 1911, H.K. Onnes of the Leiden university in the Netherlands had discovered the superconducting phenomenon [1] of the electric resistance disappearing for the first time in the world while measuring the electric resistance of mercury with high purity. The superconducting phenomenon is a revolutionary phenomenon because it can completely adjust the electric power loss of power transmission to zero. Then, the research of the metallic superconductor conducted at the high temperature or more became active.

In 1986, a new discovery [2] of 30K in the phase transition temperature discovered by J.G. Bednorz and K.A. Mueller in Switzerland, and an extremely big impact was given to a lot of people in the world. However, not being clarified is still completely well-known true, and the research has progressed now though a lot of theoretical researches and the theoretic models were proposed about the superconducting mechanism of these high temperature oxide superconductors.

Authors researched the thermal conductivity temperature dependency of the phase transition neighborhood on the metallic superconductors, Nb_3Sn and V_3Ga , and the high T_c oxide superconductors, $La_{1.8}Sr_{0.2}CuO_{4-y}$ and $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-y}$, and reported the measured data of the thermal conductivity basing these consideration. In addition, the temperature phenomenon characteristic of the thermal conductivity model of these metals and the high temperature oxide superconductors has examined with the experiment over many years.

It is the proposed one because it considered the isotropic and the anisotropic thermal conductivity model of the general metallic and high temperature oxide ceramic superconductors in this thesis.

2. Theory of thermal conductivity

2.1 Isotropic thermal conductivity function of metal and metallic alloy superconductors: First kind model

The theory concerning the thermal conductivity of a metallic superconductor (isotropic superconductors) starts in

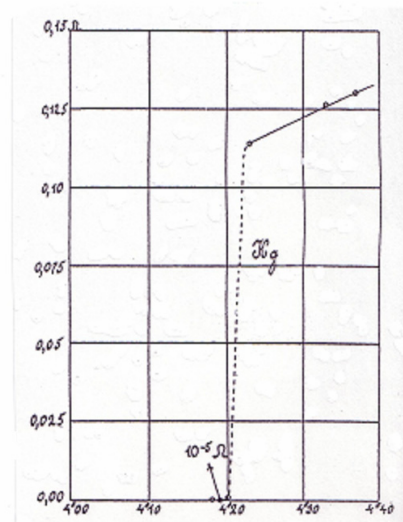


Fig.1 Disappearance electric resistivity of mercury discovered by H.K. Onnes in 1911 [1].

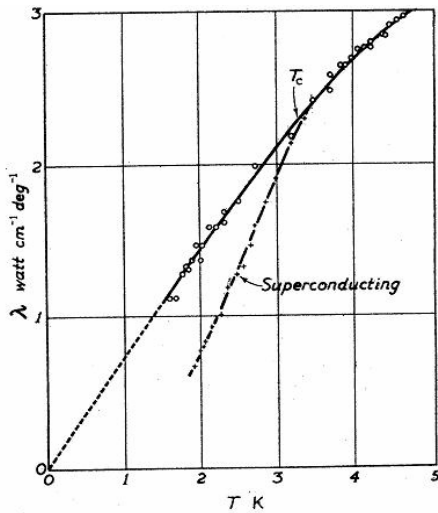


Fig.2 Temperature dependency of thermal conductivity for indium in superconductive temperature region [3].

Gorter-Casimir model [4] and Tizsa model [5] from the two fluid model. In the theory of the thermal conductivity of the superconductor, the L. Landau's theory of Russian physicist that applies two fluid model by the proposal of Tizsa to the super-fluidity phenomenon of helium is the starting point.

W. Heisenberg had established the thermal conductivity theory [6] by applying the two fluid model to a metallic superconductor in 1948.

In addition, J. Bardeen, G. Rickayzen and L.Tewordt had showed the superconductive thermal conductivity theory [7] (B.R.T. theory) was established the collision equation from which BCS theory [8] that applied Cooper's electron pair was assumed to be a base.

Superconducting phenomenon is to assume that the normal conduction electron and the superconducting electron flow in the conductor while the superfluidity phenomenon assumes the two fluid model of the fluid with the normal viscosity and the fluid without the viscosity in the flow.

Then, authors progressed by thermal conductivity theory of

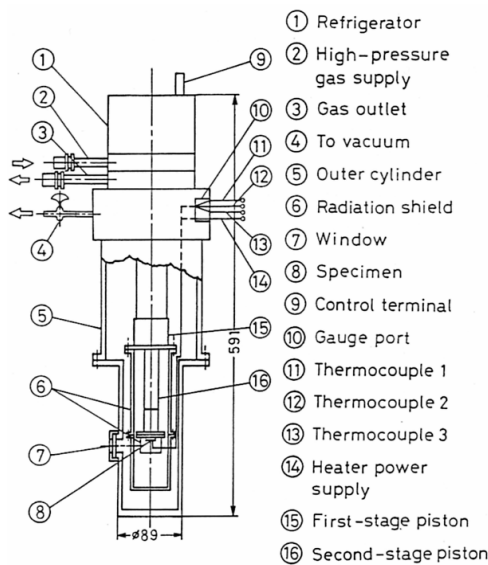


Fig.3 Apparatus diagram of thermal conductivity measurement of metallic and high T_c oxide superconductors [9].

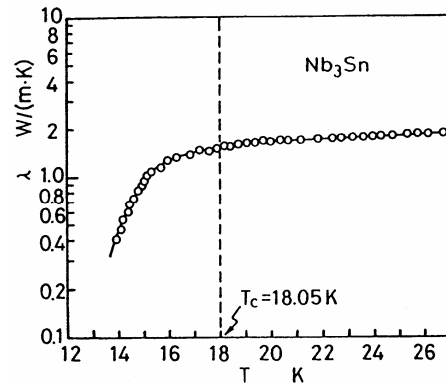


Fig.4 Measured temperature dependency of Nb₃Sn on superconducting region [9].

the metal and metallic alloy superconductors that used the Heisenberg theory. In this theory, the thermal conductivity with the superconducting electron assumes the one with λ_s and the normal conduction electron to be λ_n , and is given as a ratio of the thermal conductivity function λ_s/λ_n expressed by a non-dimensional temperature variable ξ .

$$\frac{\lambda_s}{\lambda_n} = \frac{2\xi^2}{1 + \xi^4} \dots \dots \dots (1)$$

On the other hand, the thermal conductivity of the superconductor is shown by the next expression (2) according to the theory of the thermal conductivity (BRT theory) by J. Bardeen, G. Rickayzen and L.Tewordt that uses the Cooper electron pairs idea in 1957.

$$\begin{aligned} \lambda/\lambda_n &= \int_{\epsilon_0}^{\infty} E^2 \frac{\partial f}{\partial E} dE / \int_0^{\infty} E^2 \frac{\partial f}{\partial E} dE = \frac{2F_1(-y) + 2y \ln(1 + e^{-y}) + y^2 / (1 + e^y)}{2F(0)} \\ &= \Phi(y) \cong \frac{2\xi^2}{1 + \xi^4} \dots \dots \dots (2) \end{aligned}$$

Here, the function of y and $F_n(-y)$ is as follows.

$$y = \epsilon_0 / kT \dots \dots \dots (3)$$

$$F_n(-y) = \int_0^{\infty} \frac{z^n}{1 + e^{z+y}} dz \dots \dots \dots (4)$$

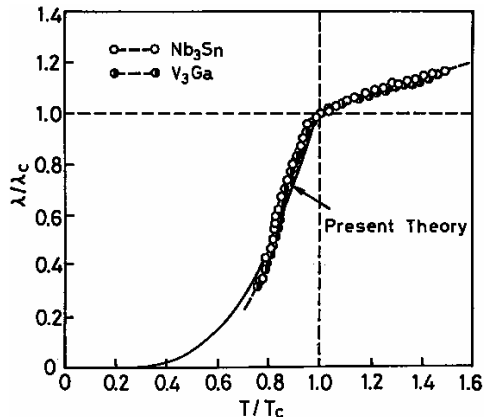


Fig.5 Non-dimensional thermal conductivity function of non-dimensional temperature variable ξ on metallic alloy superconductors [9].

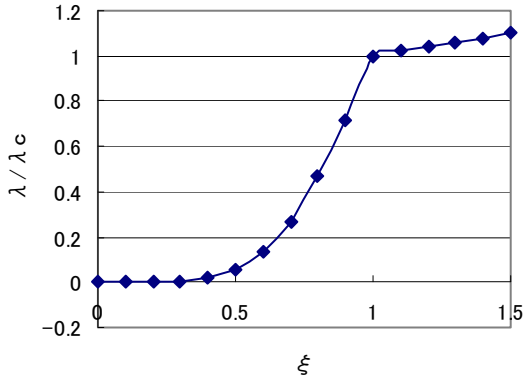


Fig.6 Temperature dependence of thermal conductivity of first kind model for metallic and metallic alloy superconductor.

The characteristic value y_0 is expressed by the phase transition temperature T_c of the BCS theory,

$$y_0 = \varepsilon_0 / kT_c = 1.75 \quad \dots\dots\dots (5)$$

and the following special function.

$$\Psi(\xi) = \frac{[\lambda_s / \lambda_n]_y}{[\lambda_s / \lambda_n]_{y_0}} = \frac{\Phi(1.75 / \xi)}{\Phi(\varepsilon_0 / kT_c)} = \sum_0^n a_n \xi^n \dots\dots\dots (6)$$

If the proportional constant is assumed to be Γ_0 , the thermal conductivity of superconductor in the low temperature region can be expressed by the next expression (7).

$$\lambda_n \cong \Gamma_0 (T / T_c)^3 = \Gamma_0 \xi^3 \quad \dots\dots\dots (7)$$

Therefore, the expression of the thermal conductivity of a metallic and metallic alloy superconductor can be obtained by substituting expression (7) for expression (2).

$$\lambda / \lambda_c = \Omega_1(\xi) \cong \Psi(\xi) \xi^3 = \frac{\Phi(1.75 / \xi)}{\Phi(\varepsilon_0 / kT_c)} \xi^3 \cong \frac{2\xi^5}{1 + \xi^4} \quad \dots\dots\dots (8)$$

Fig.6 shows the temperature dependence of the thermal conductivity of the metallic and the metallic alloy superconductor of expression (8) were calculated. Table 1 shows the coefficient of the approximation function $\Psi(\xi)$. We can easily calculate the $\Psi(\xi)$ function using by Table 1.

Table 1 Coefficient of approximate polynomial of function $\Psi(\xi)$.

Degree of approximation function	2	3	4	5
a_0	-0.24	0.0067	0.177	0.152
a_1	1.507	-0.681	-2.861	-2.453
a_2	-0.216	4.530	12.50	10.35
a_3	-	-2.876	-13.77	-8.941
a_4	-	-	4.954	0.1326
a_5	-	-	-	1.758
$ e _{\max}$	9.15×10^{-2}	2.90×10^{-2}	8.79×10^{-3}	1.46×10^{-3}

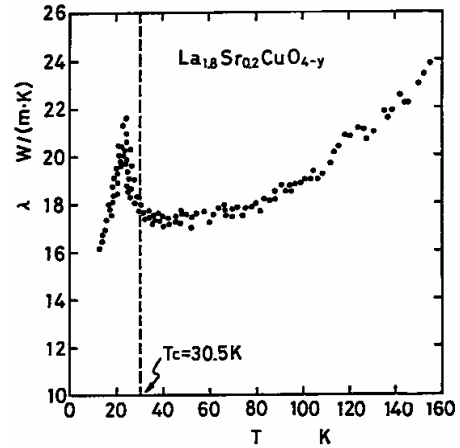


Fig.7 Measured temperature dependency of thermal conductivity $La_{1.8}Sr_{0.2}CuO_{4-y}$ [10].

Thereafter, expression (8) will be called the first kind model of superconductor of the metallic superconductor system (isotropic metallic superconductor model). In the normal conduction area of the high temperature, the approximated thermal conductivity function can be shown by the next expression (9).

$$\lambda / \lambda_c = 1 + 0.20(\xi - 1) \quad \dots\dots\dots (9)$$

The function of this thermal conductivity is useful for the thermal conductivity in the high temperature region.

2.2 Anisotropic thermal conductivity function of high temperature oxide superconductors: Second kind model

Next, we tried to attempt the thermal conductivity of a high- T_c superconductor $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-y}$ compound systems that exceeded the boiling temperature of the liquid nitrogen for the first time.

When the sample was made, the oxidation compound of each element was mixed with the mortar well after the proper quantity was measured, and it sintered at the temperature of 920 degrees centigrade. Afterwards, the sinter was minutely crushed, it put in the type, and it built with high pressure. Afterwards, the sample was able to be done by sintering. Fig.8 is a measurement of the superconducting transition temperature by using four probes method.

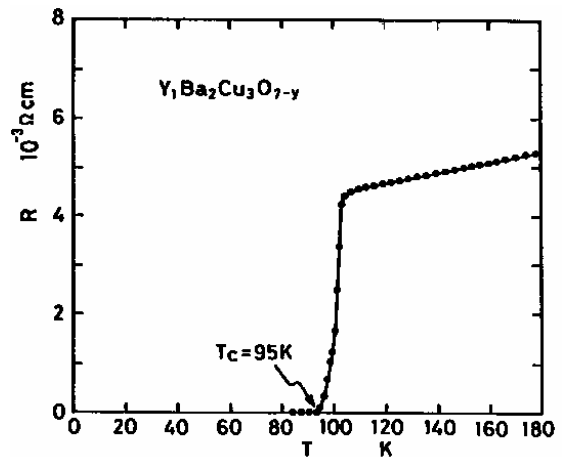


Fig.8 Temperature dependency of electrical resistivity of high- T_c superconductor $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-y}$ compound system [11].

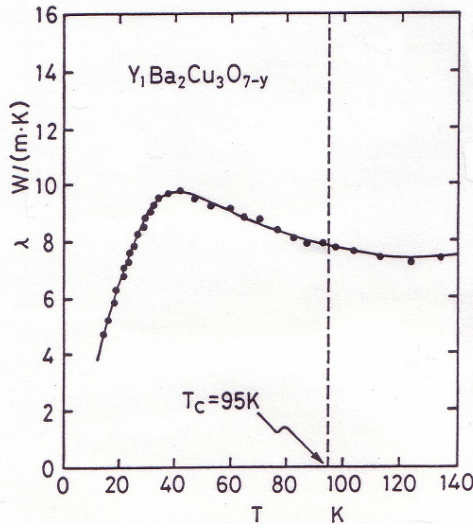


Fig.9 Measured thermal conductivity of high- T_c superconductor $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-y}$ using one-dimensional plate comparative method [11].

The high temperature oxide superconductor (Ba-La-Cu-O system superconductor discovered by J.G. Bednorz and K.A. Mueller in 1986) is having a peculiar structure. The feature of the thermal conductivity is that the phase transition temperature (zero resistance temperature) decreases rapidly as follows after the thermal conductivity's rapidly rising with the decrease in the temperature and indicating maximum value λ_{max} of the thermal conductivity when it becomes. This change form is just similar to the thermal conductivity of the high purity metal in the low temperature region.

Then, to clarify the temperature dependence structure of the thermal conductivity of the high temperature oxide superconductor, authors was progressed theory shown next. The composition of the theory is as follows. In general, it is known to the transmission of the conduction of heat of the material to spread by the electronic conduction and by the phonon conduction.

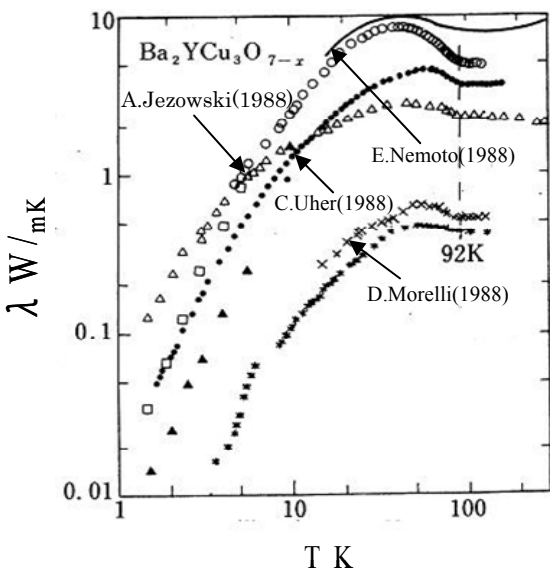


Fig.10 Compared with reported reference data of temperature dependency of thermal conductivity for $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-y}$ superconductor worldwide in 1988 [12].

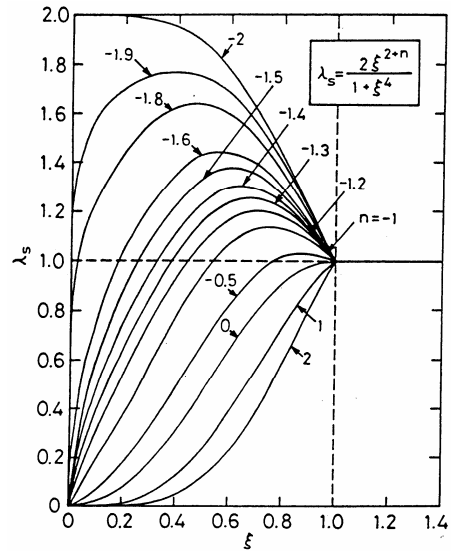


Fig.11 Theoretical thermal conductivity function of general superconductors ($-2 \leq n \leq 2$).

Therefore, the thermal conductivity λ can be shown by the next expression (10).

$$\lambda \approx \lambda_e + \lambda_p \dots\dots\dots (10)$$

Now, the thermal conductivity that normal conducts can be approximated by the next expression (11) in consideration of conduction by the phonon conduction because it can be thought that the factor by the phonon is more predominant than the factor with the electron when thinking about the thermal conductivity of the high temperature oxide superconductor.

$$\lambda_n = \lambda_p \approx \xi^n \dots\dots\dots (11)$$

Therefore, when this expression (11) is substituted for expression (1), and the approximation function of thermal conductivity λ/λ_c in the lower transition temperature region of the high temperature oxide superconductor is requested, the next expression (12) is obtained.

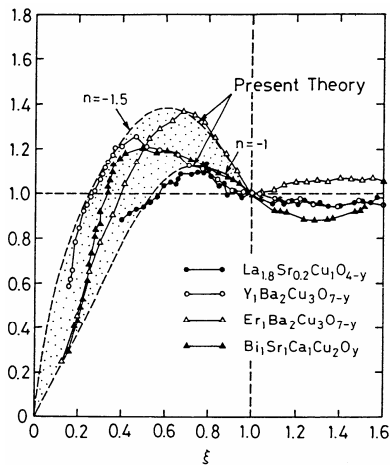


Fig.12 Theoretical thermal conductivity characteristic compared with measured data of high- T_c oxide superconductors.

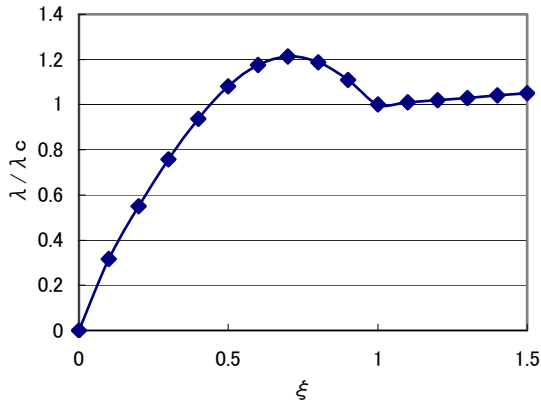


Fig.13 Temperature dependency of thermal conductivity function of second kind model for high T_c superconductors.

$$\lambda / \lambda_c = \Omega_2(\xi) = \frac{2\xi^n \lambda_n}{1 + \xi^4} = \frac{2\xi^{2+n}}{1 + \xi^4} \quad \dots\dots\dots (12)$$

Here, expression (12) is considered. The expression feature of the thermal conductivity of the high temperature oxide superconductor is having that maximum thermal conductivity λ_{max} exists in the temperature region of $0 \leq \xi \leq 1$. The value λ_{max} can be requested from the differentiation condition of the maximum value as follows.

$$\left[\lambda / \lambda_c \right]_{max} = \frac{2 \left[\frac{2-n}{2+n} \right]^{(2+n)/4}}{1 + \left[\frac{2-n}{2+n} \right]} \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$\xi \left[\lambda / \lambda_c \right]_{max} = \sqrt[4]{\frac{2-n}{2+n}} \quad -2 \leq n \leq 0 \quad \dots\dots\dots (14)$$

To know these outlines, the numerical analysis result of assumption from $n=2$ to $n=-2$ is shown in Fig. 11. It can know the low temperature characteristic of thermal conductivity of the high temperature oxide ceramic superconductors by Fig.12. As shown in Fig.13, expression (12) is classified with the second kind model of the isotropic high temperature oxide superconductor.

2.3 Anisotropic thermal conductivity function of high- T_c oxide superconductor : Third kind model

2.3.1 Two dimensional model

When an actual high temperature oxide superconductor is made, and the thermal conductivity was measured below the phase transition temperature region, the thermal conductivity shows the electric resistivity characteristic as a typical three-dimensional anisotropic material [13] different in each principal axis as shown in Fig.14. Therefore, the two dimensional anisotropic thermal conductivity of third kind model of the high temperature oxide superconductors [14] is considered.

In general, it means that heat is transmitted by the thermal conductivity mechanism that the heat conduction phenomenon of the high temperature oxide superconductor is different in the direction of three principal axes.

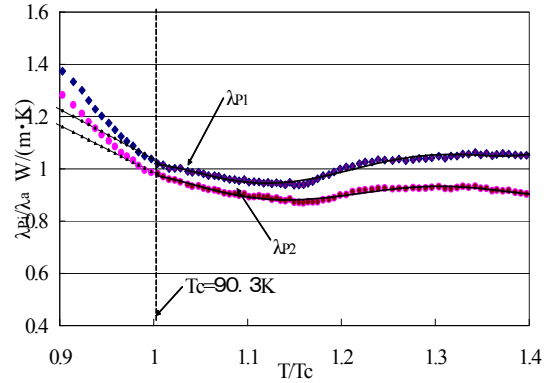


Fig.14 Measured thermal conductivity of two dimensional anisotropic high- T_c superconductor $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-y}$ compound system on phase transition temperature region.

Then, the following formula is obtained by assuming that principal axis 1 and 2 are orthogonal, and assuming that the electron and the phonon independently transmit heat to the orthogonal axis in the high temperature oxide ceramic superconductor.

Therefore, thermal conductivity function λ/λ_c of the two dimensional anisotropic high temperature oxide superconductors can be requested directly by substituting expression (15) for expression (12).

$$\lambda_n \approx i\lambda_{p1} + j\lambda_{p2} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\lambda / \lambda_c = \Omega_3(\xi) \cong \frac{2\xi^n \lambda_n}{1 + \xi^4} = \frac{2\xi^{2+n}}{1 + \xi^4} (i\lambda_{p1} + j\lambda_{p2}) \dots (16)$$

This expression shows the temperature dependency of the thermal conductivity of the two dimensional anisotropic high temperature oxide superconductors in the low temperature region below the phase transition temperature enough. This expression will be called the third kind model of the anisotropic high temperature oxide superconductor.

It proposes the following model of expression (16) as the two dimensional anisotropic superconductor of the third kind model.

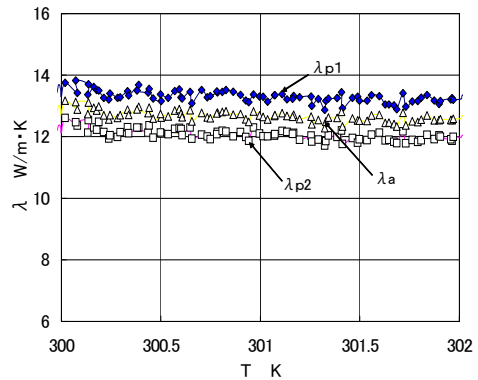


Fig.15 Measured thermal conductivity of two dimensional anisotropic high- T_c superconductor $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-y}$ compound system of high temperature region.

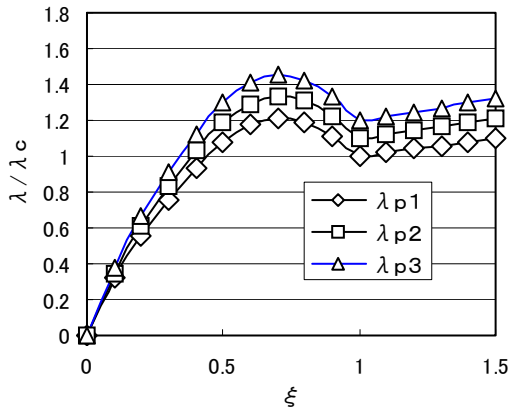


Fig.16 Temperature dependency of theoretical thermal conductivity of third kind model for anisotropic superconductors.

2.3.2 Three dimensional model

Next, it proposes the following model of expression (17) as a three dimensional anisotropic model.

$$\lambda_n \approx i\lambda_{p1} + j\lambda_{p2} + k\lambda_{p3} \dots\dots\dots (17)$$

However, i, j, and k are assumed to be three dimension unit vectors in the orthogonal coordinate system.

$$\lambda / \lambda_c = \Omega_4(\xi) \cong \frac{2\xi^n \lambda_n}{1 + \xi^4} = \frac{2\xi^{2+n}}{1 + \xi^4} (i\lambda_{p1} + j\lambda_{p2} + k\lambda_{p3}) \dots (18)$$

Fig.16 shows the result of calculating the temperature dependency of the anisotropic thermal conductivity of the three dimensional anisotropic ceramic superconductors that uses expression (18).

$$\lambda / \lambda_c = \alpha [1 + 0.20(\xi - 1)] \dots\dots\dots (19)$$

A calculation example in Fig.16 is the one having shown in the figure in expression (19) in case of $\alpha=1.0, 1.1, \text{ and } 1.2$.

3. Conclusions

In this research, the thermal conductivity below the phase transition temperature (zero resistance temperature) in the three dimensional isotropic and anisotropic superconductor materials were theoretically considered, and the following conclusions were obtained.

- (1) The temperature dependency characteristic of the thermal conductivity of the three dimensional anisotropic high temperature oxide superconductors when changing from the normal conduction state to the superconducting state can obtain the expression of the thermal conductivity function based on two fluid model proposed by Heisenberg et al.
- (2) The thermal conductivity of the two and three dimensional anisotropic superconductors can be expressed by the thermal conductivity component using by the orthogonal unit vector in the axis direction.
- (3) The metallic isotropic superconductors and the anisotropic high temperature oxide superconductors can handle the expression of the thermal conductivity as the same structural formula, considering the non-dimensional

temperature variable of the low temperature region of a normal conductor of expression (8) and expression (12).
 (4) It can be shown that the maximum value of the thermal conductivity of principal axis exists axially each when the anisotropic superconductors are in the superconducting state using by our models of the anisotropic superconductors.

NOMENCLATURE

- F_n : Fermi-Dirac function
- k : Boltzmann constant
- T : temperature K
- ϵ_0 : energy gap
- λ : thermal conductivity, $W/(m \cdot K)$
- ξ : non-dimensional temperature $=T/T_c$
- Φ : B.R.T. function
- Ψ : non-dimensional B.R.T. function
- Ω : non-dimensional thermal conductivity $=\lambda / \lambda_c$

REFERENCES

- [1] H. K. Onnes: On the sudden change in the rate at which the resistance of mercury disappears: Communications from the Physical laboratory of the university of Leiden, vol.24, (1911), pp.21-25.
- [2] J. G. Bednorz and K. A. Mueller: Possible high- T_c superconductivity in the Ba-La-Cu-O system, Z.Phys. B-Condensed Matter, vol.64, (1986), pp.189-191.
- [3] H. M. Rosenberg: "Low temperature Solid State Physics", Oxfors Press, (1963), pp.129.
- [4] C. J. Gorter and H. Casimir: Zur thermodynamik des superleitenden zustandes, Physik. Z., vol.35, (1934), pp.963.
- [5] L. Tisza: Transport phenomena in helium II: Naure, (London), vol.141, (1938), pp.913.
- [6] W. Heisenberg : Das elektrodynamische verhalten supraleiter: Z. Naturforsch., 3a, (1948), pp.65.
- [7] J. Bardeen, G. Rickayzen, and L. Tewordt: Theory of the thermal conductivity of superconductors: Phys. Rev., 113-4, (1959), pp.982.
- [8] J. Bardeen, L. N. Cooper, and J. R. Schrieffer: Theory of Superconductivity: Phys. Rev., vol.113-4, (1957), pp.1175.
- [9] E. Nemoto and K.Kawashimo: The measurements of the thermal conductivities of Nb_3Sn and V_3Ga : JSME Int. J., Ser.II, vol.31-4, (1988), pp.688-693.
- [10] E. Nemoto et.al., Thermal conductivity of a $La_{1.8}Sr_{0.2}CuO_{4-y}$ Superconductor, Netsubusse, (in Japanese), vol.2-1, (1988), pp.49.
- [11] E. Nemoto and K.Kawashimo: Measurements and mechanism of the thermal conductivities of High- T_c oxide superconductors: JSME Int. J., Ser.II, vol.34-3, (1991), pp.340-347.
- [12] Japan Society of Thermophysical Properties: "Thermophysical Properties Handbook", pp.245 1990.
- [13] S.W. Tozer, A.W. Kleinsasser, T. Penny, D. Kaiser, and F. Holtzberg: Measurement of an-isotropic resistivity and hall constant for single-crystal $YBa_2Cu_3O_{7-y}$: Phys. Rev. Let., vol.59-15, (1987), pp.1768-1771.
- [14] E. Nemoto, Y. Yokoyama and K. Nakamura: Simultaneous measuring method and measured results of principal thermal conductivities, thermal diffusivities and principal-axis angle: 6th World Coference on Experimantal Heat Transfer, Fluid Mechanics, and Thermodynamics, April 17-21, Matsushima, Miyagi, Japan, (2005), pp.6-b-10.

全反射エバネッセント光の FDTD 解析

青木 克仁* 若松 孝

Analyses of Evanescent Waves at Total Reflection using FDTD method

Katsuyoshi AOKI* and Takashi WAKAMATSU

Abstract: Evanescent waves generated at total reflection were simulated visually using finite difference time domain (FDTD) method. A polarized light beam with the Gaussian profile is incident into a glass/air interface and generates the evanescent waves in the air side of the interface at incident angles larger than a critical angle of the total reflection. The FDTD simulation results were comparable to calculations based on the wave optics theory, from characteristics of the evanescent waves: the field decay behavior, the penetration depth, and the Goos-Hänchen shift.

1. はじめに

全反射条件下で形成されるエバネッセント(消衰)光は、光波長スケールの領域に局在する光であり、空間や物質中を伝搬する通常の光とは大きく異なる性質を持つ。このエバネッセント光の特性を利用して、近年、光ファイバー型や薄膜導波路型の化学・バイオセンサーの研究開発が盛んに行われている^{[1]-[6]}。このようなエバネッセント光センサーの動作解析には、通常、定常状態における平面波に基づく波動光学を用いることが多い^{[5],[6]}。しかしながら、光と分子・原子の微視的で動的な相互作用や、複雑な界面を含む系を対象とする場合などでは、平面波による波動光学を適用することは難しい。

これに対して、電磁界の数値解析の一手法である FDTD (Finite Difference Time Domain) 法^[7]は、電磁気現象を記述する Maxwell 方程式から、直接、電磁界を数値計算する方法であるため、平面波の波動光学解析に比べて計算対象の制約が少なく、定常状態の解析は勿論、複雑な系でも適用できる。さらにまた、電磁界の時間応答解析や可視化も可能である。

本報文では、開発した FDTD 法による光波シミュレーションプログラムの動作確認を目的に、ガラス/空気の単一界面へのレーザービームの入射、それによって生じる透過光、

反射光、及び全反射条件下で発生するエバネッセント光についてシミュレーションを行った例を紹介する。全反射エバネッセント光の特性(電界の減衰、浸入長)や全反射現象の特性である Goos-Hänchen シフトについて、平面波波動光学理論による計算結果と比較した。

2. 電磁界の計算方法

2.1. 電磁界解析の対象

図 1 に示すように、偏光した光がガラス中を伝搬し、ガラス/空気の界面に光が入射した場合について界面付近の電磁界を解析する。解析する領域は、計算プログラムの単純化と計算時間の短縮のために、2次元平面とした。解析領域の左下に原点 O を設定し、解析領域平面内に x 、 y 軸を、平面に垂直に z 軸をとる。透明ガラスと空気の媒質は光学的に等方であるとし、両者の界面を直線で示した。

光を放出する波源をガラス側の解析領域の縁に沿って配置し、そこで電磁界を強制的に単振動させることで入射光を発生させた。ここでは、レーザービームの入射を想定して、一様な平面波ではなく、ビーム内にガウス関数型の電磁界分布を有するガウシアンビームを用いた。なお、媒質中には真電荷による電流源は無いとし、媒質による光吸収は無いとする。

*茨城高専専攻科電気電子工学コース 1 学年

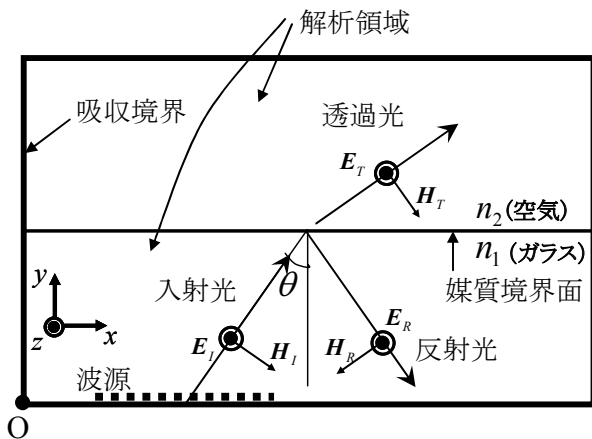


図1. 電磁界解析の対象 (s 偏光入射)

2.2. FDTD 法による電磁界計算

電磁界の計算には、電界 E と磁界 H によって表現された次の Maxwell 方程式を用いた。式(1), (2)を1次中心差分公式^[7]によって差分化し、コンピューターで直接、数値計算した。

$$\nabla \times E = -\mu_0 \frac{\partial H}{\partial t} \tag{1}$$

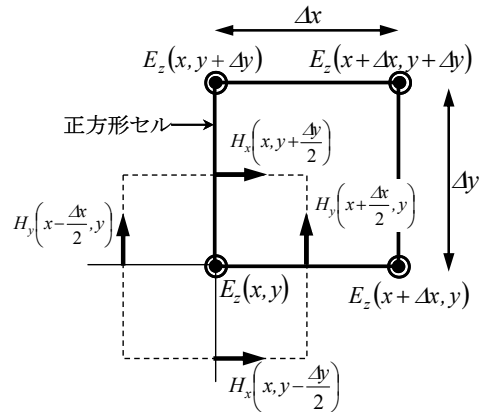
$$\nabla \times H = \varepsilon \frac{\partial E}{\partial t} \tag{2}$$

ここで、光領域の電磁界を扱うために、式(1)の透磁率を真空の透磁率 μ_0 とした。また、媒質は無吸収であることから、式(2)の誘電率 ε は実数である。解析領域内には電流源が存在しないために、式(2)の右辺には定常電流の項を含まず、変位電流の項のみとなる。

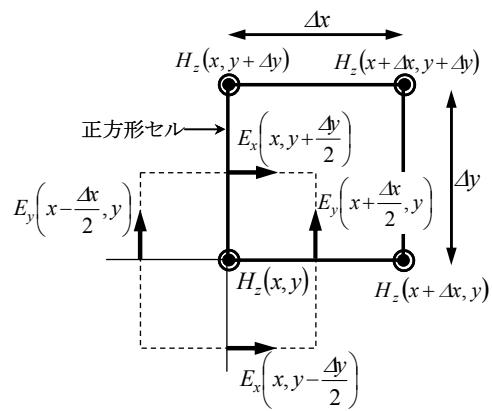
図2に示すような大きさ $\Delta x, \Delta y$ の正方形セルで解析領域を格子状に分割し、電界 E と磁界 H を配置した。光波の E と H は互いに直交することから、入射光が s 偏光 (TE モード) の場合 (図2 (a))、正方形セル頂点の座標 $(x, y), (x + \Delta x, y), (x, y + \Delta y), (x + \Delta x, y + \Delta y)$ 上に、それぞれ電界の z 成分 E_z を配置し、それらの頂点を取り囲むように磁界の x 成分 H_x と y 成分 H_y を配置した。同様に、p 偏光 (TM モード) 入射の場合にはセルの各頂点に H_z を配置し、それを取り囲むように E_x と E_y を配置した。このように電磁界を配置することで、Maxwell 方程式(1), (2) の左辺の回転 ($\nabla \times$) に対応できる。

計算に使用するコンピューターのメモリや処理速度、計

算時間などを考慮すると、計算領域を有限にせざるを得ない。解析領域の縁に衝突する光波は、電磁界の乱れの原因となるために、縁境界で光波が吸収される条件を用いてこのような乱れを少なくする必要がある。ここでは、比較的簡単に設定できる Mur の1次吸収境界条件^[7]を用いた。



(a) s 偏光 (TE モード)



(b) p 偏光 (TM モード)

図2. 電磁界のセル配置

2.3. 開発計算プログラム

作成プログラムのアルゴリズムを図3に示す。初めに、媒質の誘電率、透磁率やセルサイズ $\Delta x, \Delta y$, ステップ時間 Δt , および波長 λ , ビーム幅、振幅などの波源に関する初期設定を行う。次に、時刻 $t = 0$ における電界 E の各成分を全解析領域に渡って計算する。続いて、ステップ時間 Δt の $1/2$ 進んだ時刻 $t + \Delta t / 2$ において磁界 H の計算を行い、さらに $\Delta t / 2$ だけ時間を進め、時刻 $t + \Delta t$ で電界

計算を行う。この計算プロセスを所定の時刻 t_{\max} に達するまで実行し、計算された電界と磁界の結果をファイルに出力し、計算を終了する。

プログラムの開発には C 言語を用い、計算実行にはパーソナルコンピュータ（EPSON Endeavor、Intel® Pentium® Dual CPU E2180 @2.00GHz、1GB RAM）を使用した。

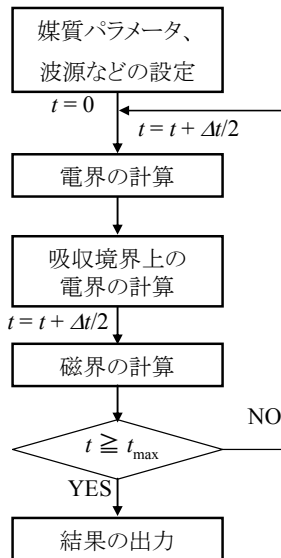


図3. プログラムのフローチャート

2.4. 計算条件

系の設定を以下にまとめて示す。

(I) 入射光の設定

- ① ガウシアンビーム、調和振動波
- ② 波長 $\lambda = 488 \text{ nm}$ (真空中)
- ③ ビーム直径: $3.3 \mu\text{m}$ 、電界振幅: 200 V/m (ガラス中)

(II) セルの設定

- ④ 空間セルの1辺の長さ $\Delta x = \Delta y = 32.5 \text{ nm}$
- ⑤ 時間ステップ $\Delta t = 7.40 \times 10^{-17} \text{ s}$
- ⑥ 吸収境界条件: Mur の1次吸収境界

(III) 媒質の設定

- ⑦ ガラスの屈折率 $n_1 = 1.5$
- ⑧ 空気の屈折率 $n_2 = 1.0$
- ⑨ 空気、ガラスとも等方的で無吸収、透磁率 μ_0

ここで、④はガラス中の光の波長の1/10とすることによって、⑤時間ステップは Courant の安定条件^[7]によって得た値である。

3. 結果と考察

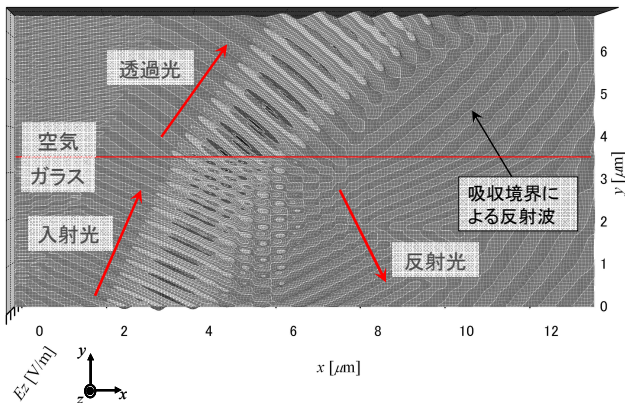
3.1. FDTD 法による電磁界シミュレーション

FDTD 法による電磁界計算プログラムを用いて、ガラス/空気界面に様々な入射角 θ_1 でレーザービームが入射した場合について、媒質界面付近の電磁界を計算した。数値計算の結果例として、入射角 $\theta_1 = 25^\circ$ ($< \theta_c$) と 50° ($> \theta_c$) における電界の様子をそれぞれ図4と図5に示す。ここで、 θ_c はガラス/空気界面における全反射臨界角で、 $\theta_c = \sin^{-1}(1/n_1) = 41.8^\circ$ である。なお、紙面の都合上、ここでは電界の計算結果のみを示したが、磁界についても類似した結果が得られた。なお、計算時間は、 $\theta_1 = 25^\circ$ のときで 700 [s] 程度、 $\theta_1 = 50^\circ$ のときで 1500 [s] 程度であった。 $\theta_1 = 50^\circ$ のときは、 $\theta_1 = 25^\circ$ のときより解析領域を広くとり、 t_{\max} を大きくして計算したため、計算時間が長くなった。

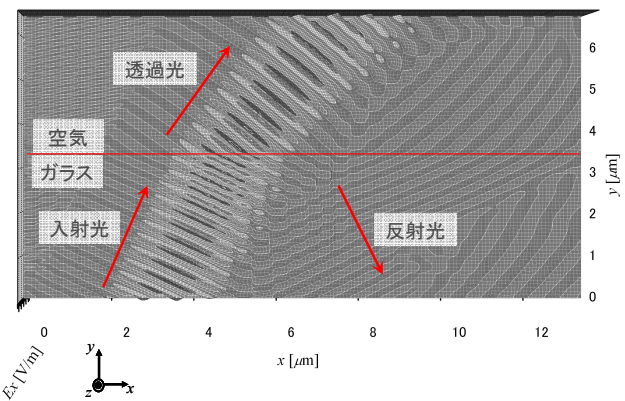
図4に示すように、全反射臨界角よりも小さな角度で光が入射した場合、左下部の波源から放出されたレーザービームがガラス中を伝搬し、その一部が界面で反射し、ほとんどが透過光として空気側で伝搬している様子がわかる。また、ガウス型電磁界分布を持った有限幅のレーザービームが、回折効果により広がりながら伝搬してゆく様子も示されている。さらに、界面のガラス側付近で、入射光と反射光が干渉している様子を確認できる。 s 偏光入射(図4(a))と p 偏光入射(図4(b))の場合で比較すると、電界の様子は、電界強度に差はあるものの、入射光の偏光による大きな相違は見られない。一方、透過光や反射光から離れた領域でも電磁界が存在し、特に、右側領域で顕著に現れている。これは、吸収境界からの反射波による電磁界の乱れであり、吸収境界条件が不完全であるために生じている。しかしながら、このような乱れた電界は、透過光や反射光の電界に比べて小さく、それらの直接的な影響は無視できるものと考えられる。

これに対して、全反射臨界角よりも大きな角度で光が入射した場合には(図5)、空気側に透過光が現れず、入射光がガラス/空気界面で全反射している様子がわかる。このとき、ガラス/空気界面のビーム照射部分の拡大図を図6に示す。ビームの電磁界は、入射光の偏光に関係なく、空気側に浸

み出している。この浸み出し電磁界が、全反射条件下で発生するエバネッセント光であると考えられる。なお、この場合も図4と同様に、吸収境界が十分に作用していないために反射波が発生し、電磁界の乱れの原因となっている。

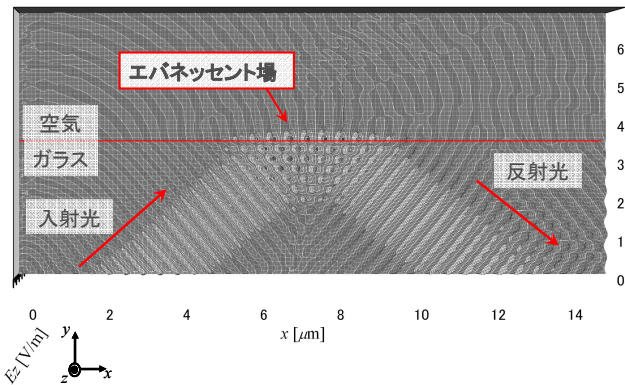


(a) E_z (s 偏光, TE モード)

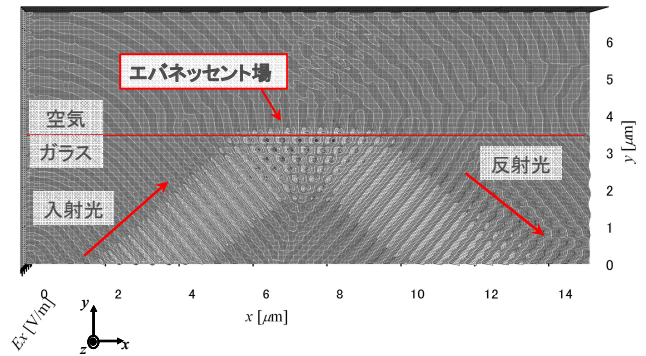


(b) E_x (p 偏光, TM モード)

図 4. $\theta_1 = 25^\circ$ における電磁界の計算結果



(a) E_z (s 偏光, TE モード)



(b) E_x (p 偏光, TM モード)

図 5. $\theta_1 = 50^\circ$ における電磁界の計算結果

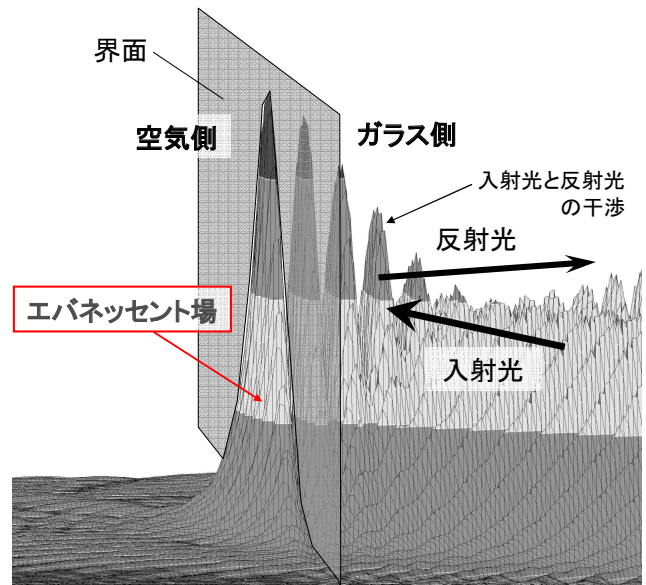


図 6. エバネッセント場 (図 5(a)) の拡大図

3.2. 全反射エバネッセント光の特性

ここでは、図5で示された界面付近の浸み出し電磁界についてその特性を詳しく調べ、平面波波動光学理論との比較を行う。ここで注意すべきことは、FDTD 法による本シミュレーションと平面波波動光学理論とは、入射光の種類が異なるということである。すなわち、本シミュレーションでは有限幅を持ったレーザービーム (ガウシアンビーム)、波動光学理論では無限に広がった平面波を入射光としている。そのため、光入射によって生じるエバネッセント光の電磁界分布も異なるものとなることが予想される。しかし、レーザービームの光軸近傍において、ビームを平面波として近似することが可能であるため、光軸近傍の光が

入射することによって生じるエバネッセント光は、平面波入射の場合と類似した電磁界分布となることが予想される。従って、本シミュレーションで示された浸出電磁界の分布が波動光学理論による電磁界分布と類似していれば、エバネッセント光がシミュレーションされたと判定できる。

図5(a)で見られた界面の空気側に浸出した電界 E_z の界面からの距離依存性を図7に示す。図7はレーザービームの光軸近傍の光によって生じた浸出電磁界の分布である。なお、波動光学理論による全反射エバネッセント光の電界は、次式で表され、それを図中の実線で示した。

$$E = E_0 \exp\left(-\frac{y}{d_p}\right) \quad (3)$$

$$\text{但し、電界の浸入長}_{[8]} d_p = \frac{\lambda}{2\pi\sqrt{n_1^2 \sin^2\theta_1 - 1}} \quad (4)$$

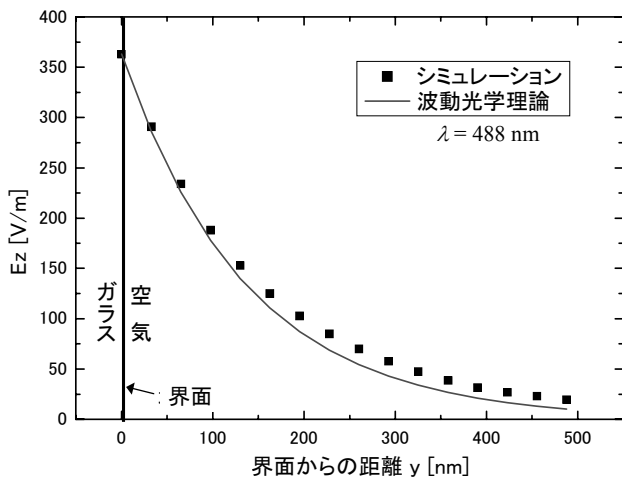


図7. 浸出電界の距離依存性 (s 偏光, $\theta_1 = 50^\circ$)

E_0 は、ガラス/空気界面上における電界の大きさで、 n_1 はガラスの屈折率である。シミュレーションの浸出電界は、波動光学理論による全反射エバネッセント光の電界曲線に概ね沿って分布しており、界面から離れるに従ってほぼ指数関数的に減衰している。ここで、前述の予想のように、シミュレーション値は理論値よりも若干異なっており、この FDTD 解析によって、レーザービーム入射時にも全反射エバネッセント光が発生することをシミュレーション出来たといえる。

図8にエバネッセント光電界の浸入長 d_p の入射角依存性を示す。ここで d_p は、式 (3) から分かるように、電界の大きさがピーク値の e^{-1} ($=36.79\%$) となる距離である。式 (4) から求めた波動光学理論による d_p の入射角依存性は、図8中の曲線で示した。FDTD 計算で評価した d_p は、概ねこの理論曲線に沿って分布しているものの、この曲線よりもやや大きな値を示している。これは、前述の予想のような入射光の相違によるものと考えられる。一方、シミュレーション値はやや大きくなばつきを持っているが、これは、本シミュレーションで設定した分割セルのサイズがこの浸出電磁界に対して必ずしも十分小さくなかったことによる。なお、今回はセルサイズを $\lambda/10$ と設定したが、このセルサイズ設定はシミュレーションから読み取れる長さの値がせいぜい $\lambda/10$ までであることを意味している。従って、それ以下の d_p をより精度よく評価するには、さらにセルサイズを小さくする必要がある。

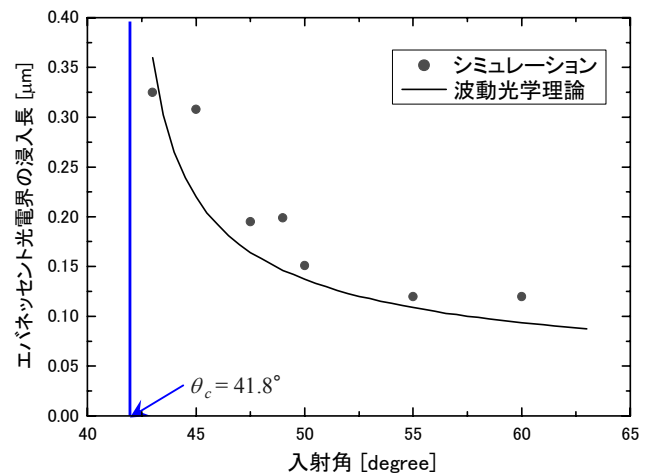


図8. エバネッセント光電界の浸入長 d_p の入射角依存性

3.3. Goos-Hänchen シフト

最後に、全反射現象の特性である、全反射界面からの反射光が入射光の照射位置から光波長程度ずれて発生するという現象、いわゆる Goos-Hänchen シフト_[8]について検討した。図5(a)のガラス/空気界面上における入射光と反射光の電界 E_z を図9に示す。

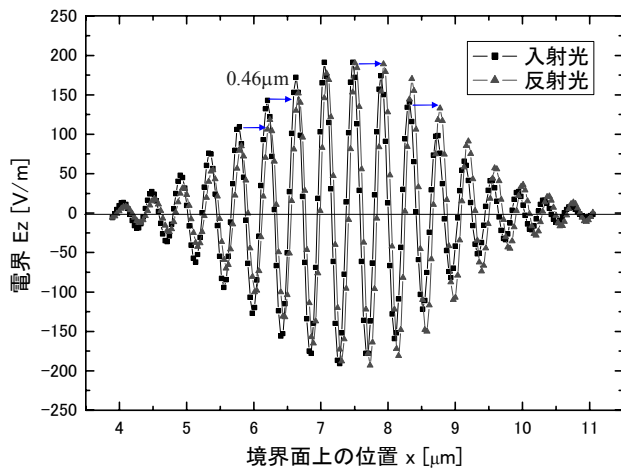


図9. ガラス/空気境界上における入射光と反射光の電界
($\theta_1 = 50^\circ$, s 偏光)

入射光と反射光の電界の包絡線はガウス関数の形であり、これは元の入射光ビームがガウス関数型であることに因る。電界の凹凸に着目すると、反射光の電界は、入射光の電界よりも x 軸の正方向の境界に沿ってシフトしている。このシフト量は、 $0.46\mu\text{m}$ であった。これは、空气中における光波長 $\lambda = 0.488\mu\text{m}$ と同程度である。波動光学理論からも、Goos-Hänchen シフトの値は、光波長程度である^[8]ことから、この一致は、今回の FDTD シミュレーションで全反射現象が表現されていることを示している。なお、光波長程度の Goos-Hänchen シフトを評価する際には、浸入長の評価と同様に、セルサイズを更に小さくする必要がある。

4. まとめ

局在するエバネッセント光を解析する目的から、FDTD 法による電磁界シミュレーションプログラムを作成した。ここでは、最も単純な系として、ガラス/空気界面を設定し、レーザービーム（ガウシアンビーム）がその界面に入射した場合の電磁界を数値解析した。その結果、全反射条件下で境界面の空気側に浸出した電磁界が見られた。この特性を平面波による波動光学理論と比較したところ、全反射エバネッセント光であることを確認した。しかしながら、吸収境界からの反射波による乱れやセルサイズの微小化の問題など改善すべき点が判明した。

謝辞

シミュレーションプログラムを作成するにあたり、多くのご助言を頂いた電気電子システム工学科の安細准教授に感謝申し上げます。

〈参考文献〉

- [1] K.Kudo: "Optical Fiber Bio-Sensor Using Adsorption LB Films", IEICE Electron., vol.E87-C, no.2, pp.185-187, 2004.
- [2] 鈴木誠一, 萩原拓也, 立花郁也, 飯田雅敏: "エバネッセント励起を用いた蛍光異方性免疫測定", 電子情報通信学会技術研究報告. OME, 有機エレクトロニクス, vol.100, no.479, pp.73-78, 2000.
- [3] A.Airoudj, D.Debarnot, B.Bêche, F.Poncin-Epaillard: "A new evanescent wave ammonia sensor based on polyaniline composite", Talanta, vol.76, issue 2, pp.314-319, 2008.
- [4] Q.Yan, S.Tao, H.Toghiani: "Optical fiber evanescent wave absorption spectrometry of nanocrystalline tin oxide thin films for selective hydrogen sensing in high temperature gas samples", Talanta (2008), doi:10.1016/j.talanta.2008.07.066.
- [5] 斎藤行正, 六車仁志, 秋元卓央: "表面プラズモン共鳴センサーの理論解析: 金属コーティング層の屈折率と膜厚のセンサー感度への影響", 電子情報通信学会技術研究報告. OME, 有機エレクトロニクス, vol.103, no.279, pp.1-5, 2003.
- [6] 松本邦裕, 山本剛, 金敬昊, 南谷晴之: "薄膜光導波路型生体化学量センサの基礎動作特性", 電子情報通信学会論文誌, D-II, vol.J81-D-II, no.6, pp.1439-1447, 1998.
- [7] 宇野亨, "FDTD 法による電磁界およびアンテナ解析", コロナ社, 1998.
- [8] F.de Fornel: "Evanescent Waves from Newtonian Optics to Atomic Optics", Springer, Berlin, 2001.

水素貯蔵材料の循環利用を目指したホウ素酸化物の超臨界接触還元法の試み

齋藤 保夫、吉崎 敦浩*

Catalytic reduction of boron oxide in SCF for recycling of hydrogen storage material

Yasuo SAITOH and Atsuhiko YOSHIKAZI *

Abstract: Inorganic metal hydride, NaBH₄ (reducing agent, H₂ highly production at near room temperature) has been noted as future hydrogen storage materials, following fuel cell. However, reuse of the oxide NaBO₂ as a result of the of direct reduction to NaBH₄ is hard, against looking forward recycling system, because of the restriction of the chemical equilibrium (difficulty in the back reaction). Catalytic hydrogenation of NaBO₂ in SCF (CO₂, or CH₄-super critical fluid) by the supported Pd catalysts has been investigated including collaboration with the company. The amount of NaBH₄ was calculated from the weight of converted and trapped water, by the use of oxidation of the hydrogen from the reaction mixture via reaction of CuO + H₂ → Cu + H₂O. The yield of the hydrogenation was less than 10 mole %, and some experimental conditions as a aim at the improvement of the yield, have been examined, especially in checking the remove of water (by-product) from the reaction system.

1. 緒言

今世紀は化石燃料消費時代の最終段階を迎えているのだろうか？エネルギー危機は過去にもあったが、折しも地球温暖化問題と相俟って、現在ほど化石エネルギーが政治・経済・文化・生活等に多大な影響をもたらしている時代はない。現在のインフラシステムが崩壊する前に、新しいエネルギー需給体制を備える必要がある。近未来的には太陽光発電が席卷するだろうが、現在はその中心にあるのが、永遠の燃料となる水素であろう。燃焼しても二酸化炭素を出さず、基本的には水しか生成しないので、「環境にやさしい」ことが最大の利点と言えよう。水素エネルギーとは燃えたときに発生するエネルギーを指すが、単位質量当たりで換算すると炭素のそれと比べると約3.5倍大きいのも特徴である。水素社会の意義・技術的経済的課題等については、多方面から論述・指摘されてきた¹⁾。水素は、あらゆる場所・生物に存在するが、自然界では単独で存在することは少ない。そこで、自然界の物から何らかの方法で抽出しなければならない。

水素製造には、化石燃料¹⁾やバイオアルコールなどから改質する場合と金属水素化物や吸蔵合金など²⁾の形で貯蔵する場合に大別できる。前者は天然ガス由来のメタンガスを工業的に高温水蒸気と反応させる改質がよく知られている。後者は有機金属水素化物が代表的である。前者では水素の取り出しにかなりのエネルギーを必要とし、何よりも化石を原料とする点が問題である。後者は使用するその場で水素を発生させるのでオンサイト型に近い。水素貯蔵原料としては、化石資源と非化石資源に分けられる。シクロヘキサン等の有機ハイドライドは前者の例であるが、脱水

素が吸熱反応なので250~400℃の高温が必要であり、しかも原料が石油系である点が問題である。非化石であれば、二酸化炭素排出は実質的にはゼロであり、非常に魅力的な技術に進展する可能性が高い。多種多様な非化石資源を用いた水素製造法の研究^{1,2)}が繰り返されているが、中でも取扱いの容易さなどから特定の無機金属水素化物³⁾が水素貯蔵材料として最近注目され始めた。たとえば、NaAlH₄(ナトリウムアラネート)やLi₃N(窒化リチウム)は、単位重量あたりの水素吸蔵量は比較的大きく(それぞれ6.7, 12.0wt%)、一時は有望視されたが、水素化-脱水素の2段階反応温度が100℃以上、100~400気圧の水素圧が必要なので、反応速度が不十分であったり水素貯蔵容器への応用の点で技術的な課題が多い。そこで著者らは、低温(80℃以下)で容易に加水分解して高密度の水素を発生し、非可燃性・非腐食性・易運搬性などの特徴を有する水素化ホウ素ナトリウム(NaBH₄)を選んだ。反応式(NaBH₄+2H₂O→NaBO₂+4H₂)からわかるように、水も含めた全量の10.9wt%の水素を発生させ、しかも発熱反応なのでコールドスタートができる。出発資源が硼砂であり比較的豊富に存在するので、実用性はさらに高まると判断される。しかし、燃料電池自動車向けなど燃料を大量に消費する用途開発を前提として水素製造が広範かつ恒常的に普及するには、使い捨てではなく、リサイクルシステムにしなければならない。そのためには水素生成後の酸化物(NaBO₂)を効率的にしかも経済的に還元しなければならない。ところが、化学反応論的視点から考察してみると、本反応はきわめて不利である。脱水素反応(加水分解)は発熱反応により自発的に進行するので、平衡論的にはその逆反応である本還元反応を直接進行させることは不可能に近い。そこで、本還元反応は別の手法(反応経路変更)で進行させなければならない。第

* (有)ハイドリック・パワーシステムズ

一にはそのときの還元条件を、たとえば金属水素化触媒や超臨界流体 (SCF)⁴⁾ 存在下での反応の可能性について検討することにした。ただし、この還元用の水素としては当面は「余剰水素」⁵⁾ が考えられる。現在は、食塩電解やコークス製造の際に出る膨大な副生水素の内、かなりの量は大気中に放出されており、これの有効利用が俟たれているという背景があるからである。また、最近では、原子炉の高熱を利用して水から水素を製造するプロセス²⁾ も提案されており、このような水素を一括集中型 (パイプライン移送は危険) ではなく、分散型還元プロセスに組み込むことも可能であろう。いずれにしても、インフラを含めて総合的な水素の製造・分離・貯蔵・輸送などに関する技術的進展を今後慎重に見守る必要がある。

なお、現行の NaBH_4 の製造法 (海外) では、反応物に金属 Na や NaH、あるいは $\text{B}(\text{OCH}_3)_3$ などのきわめて扱いにくい物質を大量に用いること、および製造コストは高く環境への負荷も大きいことから、別の製造法が模索され、特許にも数多く提案されているが、諸理由により実稼動には至っていない。

ところで、今日の化学工業の分野では SCF を用いる変換・分離・精製技術が期待されている⁶⁾。一般の熱化学反応では系内で温度の不均一が生じやすく、過剰な熱分解の抑制が困難とされているが、その解決には、温度の精密制御を可能にする流体の開発や生成物の効率的抽出・分離技術に SCF を利用しようとする試みがなされている。SCF の存在が発見されたのは 100 年以上も前だが、最近注目されるようになったのは、溶媒として特異な機能が見出されたからである⁷⁾。その一つは溶解力である。さらに、圧力や温度変化により極性、密度、粘性、誘電率や溶媒和など媒体の性質を連続的に容易に操作できる。超臨界領域では、圧力をいくら高くしても液化せず、気体分子と同等の運動エネルギーを持つ。参考までに SCF の物性値を次の表 1 に示す。

表 1 流体の臨界値⁶⁾

溶媒	分子量 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$	臨界温度 /K	臨界圧力 MPa(atm)	密度 $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$
二酸化炭素	44	304	7.38(73)	0.469
水	18	647	22.1(218)	0.348
メタン	16	190	4.6(45.4)	0.162
エチレン	28	282	5.0(49.7)	0.215
メタノール	32	513	8.1(79.8)	0.272
エタノール	46	514	6.1(60.6)	0.276
アセトン	58	508.1	4.7(46.4)	0.278

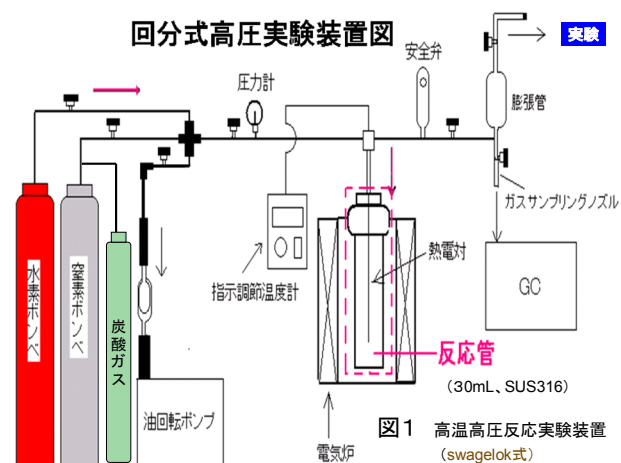
一方、触媒による水素化には、反応速度が大きく生成物との分離が容易な比較的高温の気相法 (ただし触媒劣化が速い) および反応の選択性制御の比較的可容な液相法がある。しかし後者では、溶液への水素の溶解度が小さく反応速度も低い。また、溶媒除去に必要な分離プロセスに多く

のエネルギーを要するなどの技術的な問題がある。このような問題を解決する手法の一つとして SCF の溶媒としての利用が注目された。事実、反応選択性の向上をもたらすダイオキシンのプラスチック分解などの工業的利用⁸⁾ も進んでいる。特に水は興味深い。たとえば、超臨界にして水の密度を下げると誘電率が低下するので、酸素や水素などの無機ガスが溶けるようになる。したがって SCF での酸化・還元反応が可能になる。その他に、SCF では水のイオン積が大きくなる (イオン化が促進される) ので、酸・塩基触媒なしでも加水分解が進行する。SCF- CO_2 は水素や酸素を溶かし込むので、錯体触媒を使った CO_2 中での有機反応についての研究⁹⁾ も広く行われている。しかし、基礎的なところは未解決であり、新しい反応系が生まれる可能性は十分にある。本研究では、二酸化炭素、メタンを SCF に選び、種々の実験条件を変えて NaBO_2 の接触還元を試みることにした。以上のような「循環型水素社会」を背景に、「SCF」を新しい反応場として展開できるのではないかと、この期待を持って「 NaBO_2 の SCF 下での水素還元」を中心テーマとする民間会社との共同研究を平成 17 年度から開始した。

2. 実験

2.1 反応装置・反応法・生成物定量

装置全体の略図を図 1 に示す。超臨界流体は、市販の高圧ガスボンベから減圧弁を介さず、直接高圧反応容器に流



体を導いて得た。高圧容器にはステンレス SUS316 製円筒型 30mL (当初は 10mL) を設計製作し、配管や継ぎ手は SWAGelok 式で統一した。高圧ガスは減圧弁を介さず、直接ボンベから導入した。あらかじめ調製・準備 (市販の $\text{NaBO}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 結晶を 400°C 以上で加熱排気) した無水の NaBO_2 粉末を所定量、触媒または還元補助剤とともにこの容器に装填し、容器ふたのネジ締め・ライン接続後排気する。その後たとえば CO_2 をサイフォン式液化炭酸ボンベから導入し、ガス漏れの無いことを確認したら加熱を開始する。臨界状態でしばらく放置して、 NaBO_2 と MgH_2 などの還元補助剤または Pd 触媒を CO_2 流体に分散させる。次に、 H_2 ガスをボンベから直接加え、

容器をさらに昇圧加熱し、最終的には 550°C (H_2/CO_2) 10~20MPa とした。圧力は出口側の止弁を調整しながら一定になるようにした (流通バブリング方式)。もちろん回分式で処理することも可能である。なお、処理時間は最大一昼夜とした。処理後は室温近くまで放冷してから容器をラインから切り離し、中味を丁寧に取り出して秤量する。これを摺り合わせ容器に入れ替え、水素定量装置 (図 2) に取り付ける。80~90°C の湯浴に浸し、コックを介して上部トラップから $NaBH_4$ の加水分解用触媒を別容器からスパチラでか

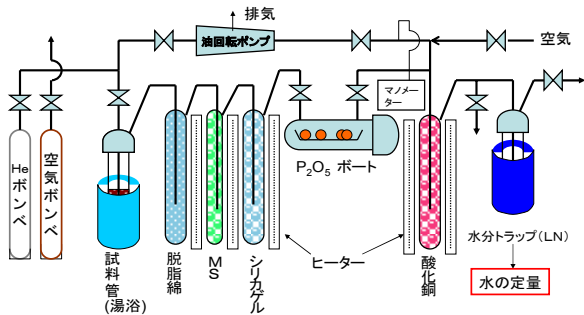


図2 $NaBH_4$ の定量分析装置 ($CuO + H_2 \rightarrow Cu + H_2O$)

き出して水とともに試料に注ぐと試料中の $NaBH_4$ が加水分解して水素が生成する。その水素を各種乾燥剤 (脱脂綿→モレキュラーシーブ→シリカゲル→五酸化燐) 入りガラス筒に同伴ガス (He) とともに通過させて、完全に脱水してから加熱 (250°C) CuO (メルク社製の針状銅を空気酸化) 充填筒にて還元させる。すなわち、水素を水に転換してから定量する。したがって加水分解用の水と区別して完全に除去しなければならない。この方法は最も軽量な水素の絶対量を質量の大きい水に転換して測定できることから、GC法などと比べて測定精度は高いと判断される。なお、この件に関しては今回特許出願¹⁰⁾に組み込むことにした。

2.2 触媒

ここで用いた代表的な Pd-ZnO/CeO₂ 触媒は、主として含浸法にて調製された。Pd 源および Ce 源には(株)添川理化学製のいずれも酢酸塩を用いた。ZnO は(株)堺化学製で純度 99.7~99.8wt%、かさ密度 350~360[mL/100g]、平均粒径 0.60 μ、比表面積 3.5[m²/g]のものを用いた。担体には、その他に ZrO₂、Al₂O₃ などを取り上げたが、詳細は省く。当研究室で調製した触媒として Pd 以外の金属には、Ni, Pt, Co, Feなどを準備した。これらの触媒に加え、(株)エヌ・イーケムキャットから提供を受けた 0.5wt%Pt/Al₂O₃ (Lot. No IKS-S-03) 及び 0.5wt%Ru/Al₂O₃ (Lot. No IKS-S-02)、さらには(株)日本触媒製の安定化ニッケル(水-メタノールで洗浄したラネー合金をステアリン酸と水酸化ナトリウムで展開、安定化させると Al が溶け出して Ni に細孔をつくる。Ni 含有率は 42~44%) も試験した。

触媒とは別個に Mg および CaH₂ の各還元補助剤も準備した。これらの補助剤は特許⁷⁾に記載されていたものであり、

本研究を遂行するにあたり追試する必要があった。補助剤は還元反応物に必要な物資であり、触媒とは異なる作用を持っている。なお、Si の添加は Mg 粉末の凝集防止¹¹⁾のためである。

ホウ素化合物や触媒などの同定には、粉末 X 線回折測定を行った。機器は本学科設置の(株)リガク製 RINT2500 を使用した。触媒試料の比表面積などの物性測定は本研究とは別に行った。

2.3 反応物試料

被還元試料には無水の $NaBO_2$ が必要だが、市販されていないので、四水和物を 400~500°C (3~4 時間) で加熱脱気して得た。無水物は XRD で確認したが、 $NaBO_2$ は水溶液中室温で容易に $Na_2B_4O_7$ に変質するので、湿気には十分注意しなければならない。取扱いは、Ar 気流中ドライボックス内で行った。また、水素化触媒以外には、還元補助剤として CaH₂ (市販)、MgH₂、Mg₂Si を取り上げた。後 2 者は各金属を高温水素処理して得た。これらの還元補助剤は、いずれも後述する複数の特許に記載されており、本研究を立ち上げる前に、まず追試することにした。

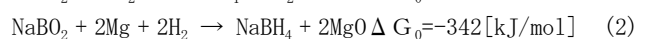
2.4 水素発生

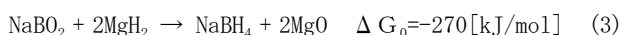
$NaBH_4$ 粉末 (株) 関東化学の市販品) を用いた水素発生実験を、本研究とは別に行った。一定量の $NaBH_4$ 粉末を三口の三角フラスコに採取する。それを湯浴に漬けて分液漏斗から蒸留水をゆっくり注ぐ。発生する水素量を出口側の石けん膜流量計にて測定する。湯浴の温度は 40~80°C とした。なお、加水分解を促進させるためのラネーニッケル粉末触媒 (市販) は空気中で発火するので、蒸留水中に混合保存し、使用するときはそのまま $NaBH_4$ 粉末に注ぐことにした。無触媒でも加水分解は進行するが、反応には誘導期が存在するのか、初めは水素発生速度が遅い。次第にほぼ一定速度で水素が生成したが、後半には再び遅くなった。生成水素による触媒や反応物への再吸着の影響もあるが、単に $NaBH_4$ の濃度減少のためではないかと考えている。すなわち、原料の供給を続ければ一定速度で水素が発生する。なお、 $NaBH_4$ 水素貯蔵材料からの詳細な水素製造に関しては石田らの報告¹²⁾、および出力範囲を 1 kW レベル以下に限定したときの $NaBH_4$ 燃料コストの評価を中心とした実用性に関しては、須田らの報告¹³⁾を参照されたい。

3. 結果および考察

3.1 アルカリ土類金属またはその水素化合物添加による効果

500°C 以上の高温であっても、常圧では Mg/Si または CaH₂-Mg/Si は $NaBO_2$ の水素化に作用しなかった。しかし、Mg/Si 存在下、高圧 (18MPa の H_2/N_2 混合ガス)、550°C、2h、回分式 (静置式) では僅かながら $NaBH_4$ の生成を確認 (収率はきわめて低く、転化率 1% 未満) した。期待される反応は次のとおり。





(ΔG_0 は反応に伴うギブスの自由エネルギー変化)¹³⁾

収率が低かった理由としては、2種の固体と水素間の接触(多相間反応)が円滑に進まなかったことも考えられるが、Mgが直接NaBO₂に作用するのではなく、一旦水素化物(MgH₂)になってから作用する¹⁴⁾と推論される。特許¹⁴⁾によれば、MgH₂またはMg/SiとNaBO₂とを1~20MPaの水素圧下、400~500℃で処理すると高収率でNaBH₄が得られるという。また、同様の水素処理を、Mg微粉末(100μm以下)とNaBO₂とをボールミル内で機械的に混合(多相間接触反応の効率向上を目指した?)した後に行ったところ、Mg表面にプロタイド(H⁻)が作用していることを推論している。しかし、Mg/Si系について著者らが追実験を行ったところ、NaBH₄は僅かしか得られず、Mg/H₂系ではNaBO₂の還元がほとんど進行しないのではないかと結論づけられた。ただし、この実験ではMg₂Siなる合金が形成され(Siの存在によりMgの凝集を防いで微粉末を維持)、希塩酸によって激しく水素が発生発火したこと、および ΔG_0 の絶対値も大きいことからこの系では条件によっては還元反応が進行する可能性が高い。しかしMg/H₂系では、MgH₂の生成エネルギーが高く、容易にMgH₂は形成されない(Mgの微粉末を維持できない)と考えられる。初めからMgH₂を共存させて同様の処理を行えば反応も進むのではないかと期待したが、MgH₂は市販されておらず、Mg系については実験を断念した。それに代わるものとして、 ΔG_0 (絶対値)がさらに大きく、入手可能なCaH₂を取り上げた。実験結果はMg系と同様に、NaBH₄は僅かしか得られなかった。CaH₂の表面は不安定で酸化物や炭酸塩(CO₂共存下)に変質したことがX線回折観察で判明した。水素化物として作用しなかったと判断される。

なお、特許¹⁴⁾によればMgH₂は当時容易に入手できるような記述があったので、著者らもそのルートをとったが、現在も購入することができていない。なお、ボールミルでの実験は追試していないが、プロタイドの存在は本触媒反応機構の理解に重要な示唆を与えたことは事実である(後述)。ところで、たとえこの還元プロセスが成り立つとしてもMgH₂などの水素化物を還元剤に用いる場合は、生成した酸化物(MgO)が不可逆的できわめて安定であり、しかも還元剤(反応物)は多量に用いなければならないので、後処理や供給などが容易ではない。また多相間物質(固-固-気-気)の高度な接触条件が不可欠であることから、高温高压下での反応条件を余儀なくされる。このような多量のエネルギー消費型プロセスは、今日の省エネ及び環境保全志向に反するばかりではなく循環型システムには向かない。単純なプロセスで安全で環境負荷も小さく、しかもコストのかからない新規の循環型還元技術を開発する必要がある。還元補助剤の考え方から、新たにリユース型触媒機能の探索へと視点の方向が変わった所以である。固体触媒なら原則として循環型に組み込めるので、反応相からの分離の問題を別にすると実用上好都合である。副生成物(補助剤で

はMgOなど)を出さず環境に負荷を与えない点でも触媒の使用は有効である。

3.2 Pd触媒を用いた高温高压下(SCF)での水素処理

Pd-ZnO/CeO₂触媒とNaBO₂粉末を乳鉢でよくすりつぶし混合して、高压シリンダー(30mL)に装てん、CO₂ガスでリークテストを行う。その後油回転ポンプで系内を排気、水分などの不純物を除去後、所定のガスを導入し、炉の加熱を開始した。直ちに水素ガスを導入し、主として550℃で一昼夜加熱を続けた。条件を少しずつ変化させながら水素処理後のNaBH₄量を測ったところ、あまり水素化は進行していないことがわかった。反応率(収率)はいずれも低く、最大でも10%程度であった。気体(水素)と2種の固体(NaBO₂と触媒)間の接触状態が問題になることから、流通式吹き込み型が望ましいと考えられるので、高压バルブを調整しながら反応管出口からの気体を一定速度で排出させることで、吹き込み型を想定した。これに対して、静置式(出口からの気体パージなし)では気体が固体と強制接触することが困難であり、反応に要する衝突頻度が大幅に低下すると考えられる。ただし、流通式であっても、満足な結果が得られなかったのは、いくつかの要因が考えられるが、バルブは止弁なので微調整は容易ではなく、安定した吹き込みと多相間の物質の接触が実現できなかったことも考えられる。今後は、安定したSCFの維持(増圧器やポンプの設置)および高压微量少流量調節弁を付属した装置の設計製作操作も必要である。これまでに行った水素処理実験の主な結果を表2に示す。

高温高压であってもSCFにならない場合には、ほとんど数%の低い収率であったが、SCFを利用した場合は17%に向上したことから、SCFの反応場としての効果が出たものと考えられる。しかし今のところ20%以上の収率は得られていない。少なくとも50%以上の収率でないと、実用化は厳しいのではないかと考えている。なお、使用後の触媒特性を調べる必要がある。脱水処理を行って得られた無水のNaBO₂を用いた場合に比べて、結晶水(4H₂O)の付いたNaBO₂の場合はほとんど還元されないことも判った。すなわち、結晶水は本反応を阻害する結果となった。なお、無水のNaBO₂は市販されていない。

3.3 触媒反応機構

NaBO₂は強いイオン結合性化合物で、これを還元するには外からのエネルギーでBO₂⁻イオンのB-O結合を切断しなければならない。切れたところで強い還元作用を持つプロタイド(H⁻)¹⁵⁾を接触させる。したがって、Hをどのように導入するかが本反応の鍵となる。触媒または還元補助剤かその役割を果たすのではないかと推論した。還元補助剤については前述のとおり。Pdは水素に対して強い親和性を持ち、水素の吸収さえ起きることはよく知られている。したがって、次の図3、4のようにHが生成されると推論した。ここでは、Pd触媒によるH⁻の形成について考察する。

NaBO₂からNaBH₄への変化を触媒との係わりで書き改め

表2 NaBO₂の水素処理実験結果(流通吹込み型)(触媒: Pd-ZnO/CeO₂、SCF: 超臨界流体、処理温度: 500°C、処理時間: 5~20時間、触媒の水素還元: 400~500°C 3時間)

対 NaBO ₂ 触媒重量比	CO ₂ 分圧 ゲージ圧[MPa]	CH ₄ 分圧 ゲージ圧[MPa]	全圧(CO ₂ +H ₂ , または CH ₄ +H ₂) [MPa]	全採取量 [g]	H ₂ O採取量 [g]	収率 [mol%]	備考
1.61	0	0	常圧	1.85	0	0	
0.45	0 (非 SCF)	0	12.5	0.62	0.02	2.4	
1.74	4.5 (未 SCF)	0	12	1.36	0.02	3.9	
1.59	4.5 (未 SCF)	0	12	1.07	0.02	3.9	
5.86	5 (未 SCF)	0	10	2.08	0.04	6.0	
0.27	6 (未 SCF)	0	13	0.44	0.01	2.8	原料 NaBO ₂ ·4H ₂ O から
1.56	28.5	0	12	1.53	0.04	17.6	
2.00	10	0	12	1.52	0.02	8.2	触媒再使用
0.56	0	4 (未 SCF)	12	0.89	0.03	4.3	
1.87	0	4 (未 SCF)	12	0.93	0.02	4.8	
1.06	0	4 (未 SCF)	12	1.05	0.01	1.8	原料 NaBO ₂ ·4H ₂ O から

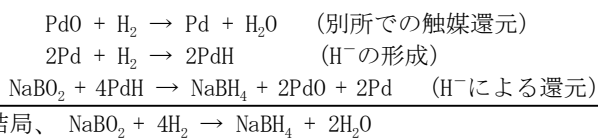


図3 Pd触媒によるNaBO₂の還元過程

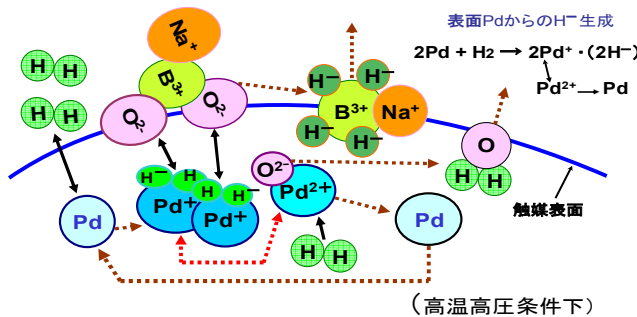


図4 Pd触媒表面上でのホウ素酸化物の還元機構

たのが図5である。結果として水素が反応し水が抜ける。B-O結合の解離エネルギーは932kJ/molであり、 $NaBO_2 + 4PdH \rightarrow NaBH_4 + 2PdO + 2Pd$ におけるギブスの自由エネルギー以上の外部エネルギーをSCFによって獲得すれば、高いNaBH₄収率を得ることが期待できる。すなわち、SCFによってPdH粒子とNaBO₂粒子が効率良く接触し、熱エネルギーによってBとOの結合を緩めて、酸素原子はPdHのPd原子に接近し、そのときPdと結合していた水素はPdから離脱を始め、ホウ素原子に結合していく。還元反応の駆動力は、Pdと酸素の結合によって放出した化学エネルギーであると考えられる。ここで、活性種はPdと考えているが、Pd、水素、NaBO₂の3者を単純に混合しただけで反応させようとしても、NaBH₄の高収率は期待できない。水素であらかじめPdHを形成させ、これとBO₂⁻イオンとの作用を引き出す必要がある。

須田ら¹⁶⁾は、NaBO₂とMgの粉末混合物を水素加圧下で加熱(800K以上)することによって高収率でNaBH₄を生成させ

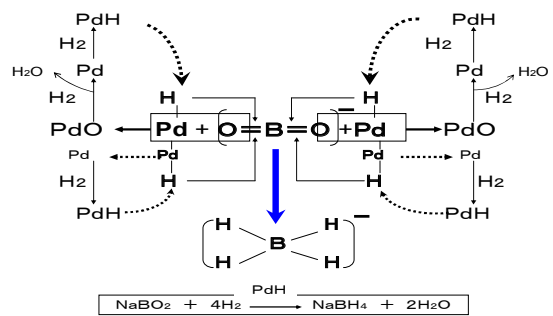
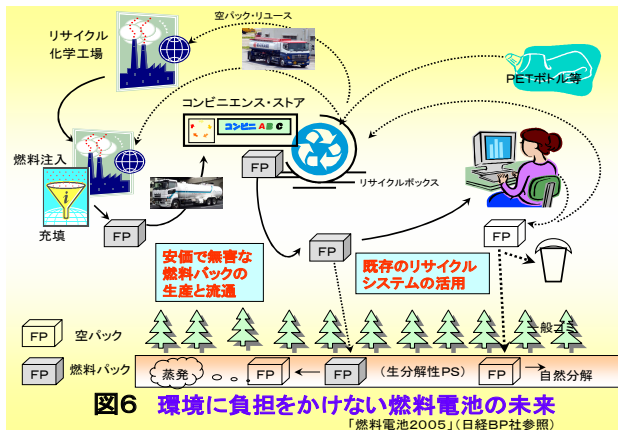


図5 PdHとBO₂⁻との反応機構

る方法を提案している。この方法では、H₂を吸蔵してMgH₂を形成するのではなく、800K以上ではむしろ水素の放出領域であることからNaBH₄の生成にはMgH₂は関与していないとしている点が注目される。プロタイド(H⁻)がMg表面上に形成されることが重要であり、これがMgと表面に接するNaBO₂へと移動することによってNaBH₄が生成される。この推定を本研究の場合に照合すれば、PdHからのH⁻の形成およびそれに続くH⁻のNaBO₂への移動が律速になっていると考えられる。この2つの条件を同時に満たすことは容易ではない。なお、PdHの存在はPdの水素吸蔵の事実によって確かめられている。H⁻のNaBO₂への移動はSCFの存在によって促進されると期待される。水素がSCFに溶け込む理由は前述のとおりであって、PdHの生成促進も期待される。プロタイド(H⁻)のような反応性の高い水素は、他にアルカリ金属・アルカリ土類金属の水素化物に含まれるH⁻が知られているが、海外で実施されているNaHによるNaBH₄の製造法を除いては、特許等に記載はあるものの、これらを用いたNaBO₂のNaBH₄への還元は実用化されていない。

以上のように、NaBO₂の還元アルカリ金属が用いられ、酸素取り出し手段としてMgOを副生成物として排出する方式は、その処理など実用上課題を残す結果となる。著者らは、この酸素を水として排出する方式を試み、環境負荷のないクリーンな還元方式を実現する見通しを得た。今後さらに実用量産技術まで研究開発を進める予定である。

NaBO₂の工業的還元が成功した暁のNaBH₄⇌NaBO₂燃料パッケージをリサイクルする未来の水素エネルギー社会の



モデルを図6に示した。

3.4 NaBH_4 のPEFCとしての化学的特徴²⁾

NaBH_4 は前述のとおり、水と反応して容易に水素ガスを放出する。そしてこのような無機ハイドライド化合物は、水素含有率が高く高密度水素源として期待が寄せられている。水素ガス発生時の反応生成物は、酸化物ないしは水酸化物であるため、通常は可逆反応にはならない。可逆的に水素化するには特別な工夫が必要になる。したがって、その場合は、厳密には不可逆的になる。

NaBH_4 の化学構造についてみると、4個の水素はBと共有結合的に結合して、 BH_4^- イオンを形成していることは前述のとおりである。さらにこれが Na^+ イオンと結合して結晶をつくる。 BH_4^- において、B-H結合はヒドロイドイオン(H⁻のことでプロタイドともよばれる)が2個の電子をBとの結合に用いた配位結合とみなすことができる。この結合の存在により、この種の化合物は錯体水素化物とよばれる。

一般に、 NaAlH_4 を含む酸性あるいは中性水溶液は不安定であるが、アルカリ性にする事で長期間安定に保存できる。10wt%NaOHに対する NaBH_4 の溶解度は600g/L以上であり、また NaBH_4 濃度30wt%以下ならば室温で液体である。一方、安定なアルカリ水溶液から、急速に水素を発生させる手段として触媒が用いられる。たとえば、Ru、Pt-LiCoO₂、フッ素処理した Mg_2NiH_4 などが開発されている。Pt-LiCoO₂を触媒に用いると、0次反応で水素ガスを生成し、15分ほどで NaBH_4 を反応により全て消費する。したがって、反応物濃度が低下しても水素発生速度が低下せず、水素供給手段としては理想的である。

加水分解で水素を発生する際、 NaBH_4 は BO_2^- に変化し、これは結晶性の $\text{NaBO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ を生ずる。10wt%NaOHに対する NaBO_2 の溶解度は室温で2mol/Lと比較的高濃度を維持できるが、結晶性沈殿の発生は、水素発生装置の配管やバルブに付着して損傷を招くおそれがある。

錯体水素化物が水素貯蔵材料としても研究開発が進められたきっかけは、1997年の NaAlH_4 に関する報告であり、エーテル中で TiCl_3 または $\text{Ti}(\text{O}i\text{Bu})_4$ を触媒として用いることにより、 NaAlH_4 からの可逆的な水素の放出・吸収が見出された。その後高機能化を目指した研究が進められたが、燃

料電池用に水素を供給する報告は現時点では見当たらない。

NaBH_4 アルカリ水溶液の燃料電池へのon-board水素供給法の実例としてミレニアムセル社の場合を紹介する。 NaBH_4 溶液がタンクから送液ポンプにより触媒チャンバーに送られ、そこで加水分解が起こる。この反応は発熱反応なので、チャンバーを出た流体は熱を持ったまま気液分離槽で分別され、適度に加湿された水素ガスが燃料電池本体に供給される。同社は、この燃料電池システムの体積エネルギー密度が600WH/L以上と試算しており、これはリチウム電池の2倍としている。

NaBH_4 水溶液を直接、燃料電池の燃料極に供給する研究は、工学院大学、韓国、日立マクセル等で行われた。理論起電力は1.64Vとなり、PEFC等の酸素水素燃料電池の1.23Vと比べて大きな値を示す。この方法の特徴として、アノード(燃料極)に水素吸蔵合金が使用された。すなわち、水素はMHxの形で吸蔵される。 NaBH_4 が種々の遷移金属を還元することは知られている。たとえば、 KBH_4 水溶液に浸した合金は水素を吸蔵すると報告されている。燃料としての BH_4^- は、副反応として加水分解が起こり水素ガスを発生し、結果として燃料利用率を低下させるので、アノード材料の高性能化が重要になってくる。電解質は、アルカリ水溶液の他にナフィオンが用いられている。現時点での最高出力密度は、室温で80-85mW/cm²と報告されており、携帯電話への用途が展開されている。

水素ガス生成後の NaBO_2 は化学的に安定であり、繰り返し利用は困難であると言われてきた。しかし、最近、Kojimaら¹⁷⁾は、 NaBO_2 から NaBH_4 の再生に関して、 MgH_2 ないし Mg_2Si 触媒の存在下7MPaH₂下で、550℃に数時間加熱すると、97%以上の収率で再生が可能であると報告している。また、森ヶ崎ら¹⁸⁾は、 NaBO_2 を MgH_2 とともにボールミリングすることで NaBH_4 に再生するとしている。これは、ボールミル内の衝突エネルギーが反応に利用されていると考えられる。 NaBO_2 を用いた場合の収率が100%であるのに対して、使用済み燃料から回収した場合は56%である。ただし、市販試薬の収率が高く、特許にも出ているので、著者らも MgH_2 ないし Mg_2Si 触媒を準備して追試験を行ったが、本論文の結果にも記述したように、ほとんど NaBH_4 は得られなかった。衝突エネルギーが反応に利用されているというが、それほど単純ではなさそうである。したがって、本研究はこのような事情を反映して行われたと言ってよい。

今後の課題としては多々あるが、錯体水素化物は小型軽量水素源として期待がもたれる素材であろう。今後、水素発生源としては、優れた触媒とプロセスの開発が重要になってくる。さらに、錯体水素化物加水分解後のリサイクルの検討が必要になるが、この工程をいかに経済的にできるかによって、無機ハイドライド燃料電池の将来性が決まると言っても過言ではない。

4. 結 言

還元補助剤として Mg, Mg/Si, CaH₂, 触媒として Pd-ZnO/CeO₂ を用い、無水の NaBO₂ を各種 S C F の存在下高温高压で水素処理した結果、次のようなことが判った。なお、NaBH₄ 粉末 2.0g の加水分解実験を別途行ったところ、触媒・60℃・攪拌ありで、平均 300mL/min の水素発生速度を観測し、NaBH₄ の水素燃料貯蔵材料としての実用性を実証した。

- ・ X R D 測定によれば、加水分解後の酸化生成物は NaBO₂ ではなく、Na₂B₄O₇・10H₂O であった。
- ・ NaBO₂/Mg/H₂ (高压) 系では NaBH₄ の生成は確認されず。
- ・ NaBO₂/Mg/Si/H₂ (常圧) 系では Mg₂Si なる合金が形成され、NaBH₄ の生成も確認された。
- ・ NaBH₄ の定量を、CuO による水素の酸化反応によって求めることができた。
- ・ NaBO₂/CaH₂/H₂ (常圧) 系では NaBH₄ の生成を確認できなかった。
- ・ Pd-ZnO/CeO₂ 触媒は S C F 存在下で NaBO₂ の水素化に作用し、最大 18mol% の収率で NaBH₄ が得られた。
- ・ 本反応における触媒の活性種は、プロタイド (H⁻) であることを推定した。
- ・ Pd 触媒表面上での NaBO₂ の水素還元機構を推論した。

5. あとがき

本研究は、2 つの民間会社および筑波大学との共同研究の形で平成 17 年度から開始した。同時に、J S T (独立行政法人 日本科学技術振興機構) の「シーズ育成試験研究」に申請したが、独創性の点で一歩及ばず採択されなかった。しかし、翌年の J S T サテライト茨城「実用化のための可能性試験 (F S)」では「高密度水素製造用固体無機ハイドライド材料の循環型利用」の課題名で採択され、18 年度は「(その 2) ホウ素酸化物の効率的還元リサイクル法の検討」、19 年度は「(その 3) 超臨界流体および担持金属触媒を用いたホウ素酸化物の新規還元法」の各副題で受託研究資金の補助を受けた。なお、(その 1) は筑波大学大学院システム情報工学科、石田教授が「高密度無機水素化物からの安定的水素発生プロセスの開発」¹²⁾ で受託した。

外部への発表としては、19 年 9 月の第 100 回触媒討論会 (札幌)¹⁹⁾、および 19 年 8 月の第 5 回全国高専テクノフォーラム一般研究成果 (奈良) (地域連携) 発表²⁰⁾、茨城地区研究交流会 (平成 1 9, 2 0 年度日本化学会関東支部) などがある。

特許には 2008 年の 3 月に 1 件出願した。発明の名称は「ホウ素酸化物の新規還元法」¹⁰⁾ である。

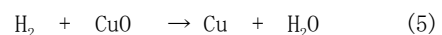
NaBH₄ を P E F C (固体高分子型燃料電池) 用の水素源

に用いる研究は、工学院大学、ミレニアムセル社 (カナダ)、サウスカロライナ (米国)、トヨタ自動車等により行われている。NaBH₄ 水溶液を直接、燃料電池の燃料極に供給する研究は韓国、日立マクセル、工学院大学等で行われている。NaBH₄ を燃料とした小型の P E F C (固体高分子型燃料電池) を携帯電話、ノート P C などの用途目的に開発を始め (2003)、試作に成功したのはセイコーインスツル (株) である (2005)。出力 5V, 5WH で 5 時間の駆動を実現している。今後の進展が注目され、高出力化が進めば、燃料電池車への搭載も夢ではない。

6. 補足事項

6.1 生成物 (NaBH₄) の定量

本反応の生成物である NaBH₄ を定量するには、反応物や触媒等から分離する必要があるが、それができていないことから、直接測定することができなかった。そこで、実験の項で記述したように、固体混合物中の NaBH₄ を加水分解して水素を定量することにした。しかし、水素の絶対量を測ることは、その質量が最も小さく極めて難しい。しかも G C で全量を測ることも困難である。そこで、下式のように、酸化剤 (CuO) によって質量の大きい (9 倍) 水に転換してそれを定量する方法を考案した。いま、処理後の NaBO₂ の重量を a [g]、生成した NaBH₄ の重量を b [g] (測れない) とすると、下式からわかるように、



$$\text{NaBH}_4 \text{ の mol 基準の収率は } \frac{(b/37.8)}{(a/65.8)} \times 100 [\text{mol}\%] =$$

174.1(b/a) [mol%] となる。一方、(5) 式で採取された水分を c [g] とすると、(4) 式からもわかるように、

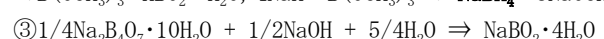
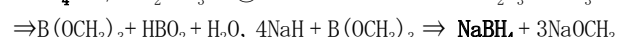
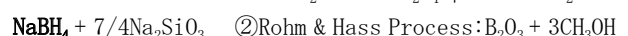
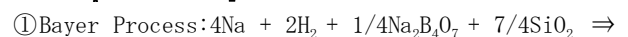
$$c = \frac{b}{37.8} \times 4 \times 18, \text{ すなわち } b = 0.525c \text{ が成り立つので、}$$

結局、

$$\text{収率} = 174.1 \times (0.525c/a) = 91.4 \times (c/a) [\text{mol}\%] \quad (6)$$

の式が得られる。なお、37.8, 65.8 はそれぞれ NaBH₄, NaBO₂ の分子量である。予備実験 (標準試料として NaBH₄ 0.150g に対して、水は 0.28g (c) 得られ、NaBH₄ 換算で 0.525 × 0.28 = 0.147g とする) から、98% の精度でこの方法が妥当であると判断された。なお、微量の水の定量にはカールフィッシャー法が知られているが、本研究にあてはまるかどうか現在検討中である。

6.2 NaBH₄ および NaBO₂ の現行製造法 (反応式)



6.3 ホウ素化合物の市場販売価格 (2007 年現在)

- ① NaBH_4 : 約 18,000 円/kg ② $\text{NaBO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$: 約 7,000 円/kg (無水の NaBO_2 は市販されず) ③ $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$: 約 2,000 円/kg ④ B_2O_3 : 約 1,800 円/kg

6.4 本特許出願内容

【請求項】四水和物メタホウ酸ナトリウムの適当量を加熱排気して得られた無水のメタホウ酸塩粉末を、金属触媒粉末と混合微粉化させた後、高温高压反応装置に取り付け、高压または超臨界流体存在下で水素化することを特徴とするホウ素酸化物の還元法。

【解決手段】例えば二酸化炭素を高压または超臨界状態下、担持金属触媒作用によって無水のメタホウ酸ナトリウム等を効率的に水素化する。さらに、生成した水素の水への転換による定量法を確立する。

参考文献

- 1) ●「水素利用技術集成」、NTS社出版、vol. 1, 総論、p. 1, 2003. ●「水素利用技術集成」、NTS社出版、vol. 2, B編 水素資源、p. 9, およびD編水素インフラ技術、p. 247, 2005. ●「水素利用技術集成 (加速する実用化技術開発)」、NTS社出版、vol. 3, p. 3, 2007. ●市川勝「新しい水素輸送インフラ技術の現状と課題」、日本エネルギー学会誌、85巻、NO. 7, p. 517(2006). ●「天然ガスの高度利用技術－開発研究の最前線－」、NTS社出版、(メタン分解により得られた水素・炭素の利用)、p. 52, 2005. ●「化石エネルギーからの水素製造技術の現状と課題」、岡田 治、日本エネルギー学会誌、85, 499-509(2006). ●「有機貯蔵材料とナノ技術－水素社会に向けて－」、監修 市川 勝、CMC出版、(2007). ●「水素社会への移行に向けて」、石倉雅裕、Best Value, vol. 5, 2004. 4, p. 8. ●「水素社会に向けたビジネスシナリオ」、野口幸司、重田幸生、知的資産創造. 2004. 7月号、p. 64. ●神保、向坂ら「微粒子ハンドブック」朝倉書店、p. 1~15, 1991.
- 2) ●「環境にやさしい21世紀の化学」、NTS社出版、分筆；井上博史、p. 42、2005. 朝倉書店、●「水素・燃料電池ハンドブック」、オーム社、2006. 9発行.
- 3) ●「環境にやさしい・・・」、NTS社出版、p. 57, 2005. ●「有機貯蔵材料とナノ技術－水素社会に向けて－」、NTS、分筆：折茂慎一、中森裕子、p. 30、2005.
- 4) ●「有機貯蔵材料とナノ技術－水素社会に向けて－」、NTS、分筆：白井誠之、日吉範人、p. 170、2005. ●梶本興亜、「超臨界流体」、化学、vol. 7, No. 7, p. 444(1992). ・西川恵子「目でみる超臨界状態」、現代化学、1995年9月 p. 22(1995).
- 5) ●「電子とイオンの機能化学シリーズ」vol. 4, (固体高分子形燃料電池のすべて)、分筆：秋山友宏、NTS社出版、p. 161、2003.
- 6) ●Jasco Report, 「超臨界最新技術特集第3号」、日本分光、(1999). ●「物性推算法、第2章 臨界定数」http://s-ohe.com/bs_inkai.html ●天然ガス利用技術 (輸送・貯蔵面で有力)、<http://www.gas-enenews.co.jp/series/tennen/001011>
- 7) ●化学と教育、51巻、第7号、p. 420(2003). 梶本興亜、●「環境にやさしい超臨界流体」、化学、vol. 53, No. 10, p. 37(1998).
- 8) ●佐古猛、「超臨界水でダイオキシンを分解」、p. 142(2000). ●松村秀一、「酵素を使用したプラスチックリサイクル－臨界二酸化炭素を溶媒として－」、バイオプロセスハンドブック、NTS出版、p. 599(2005).
- 9) ●P. G. Jessop, Y. Hsiao, T. Ikariya, R. Noyori, *J. Am. Chem. Soc.*, **116**, 8851(1994). ●入江 亮、「 scCO_2 を反応剤とする触媒的有機合成」、化学、50巻4号、p. 250(1995).
- 10) 斎藤、平田、吉崎、安藤、「特許出願 (ホウ素酸化物の新規還元法)、特許願 2008-65181 (2008).
- 11) 特許出願、2001-34081, (2004).
- 12) 新堀貴明、石田 政義、「高密度水素吸蔵媒体を用いた燃料電池システムの検討」、MHD関連筑波エネルギーシンポジウム資料、平成18. 3月.
- 13) 「新しい NaBH_4 製造・再生プロセス」、<http://kucel.jp/hydrogen.co.jp/2004MH/p5.html>
- 14) ・特許出願、2003-72466, (2003).
・特許出願、2000-391173, (2000).
・特許出願、2001-34081, (2004).
・特許公開、2002-173306, (2002).
- 15) 李州鵬、岩瀬安慶、「水素化ホウ素ナトリウム水溶液を用いた水素貯蔵・供給システム」、*Hydrogen energy*, p. 286(2005).
- 16) 須田精二郎、「多様化するマイクロ燃料電池-ボロハイドライド-」、NTS出版、p. 93, (2003)
- 17) Y. Kojima, et. al., "Hydrogen generation using sodium borohydride solution and metal catalyst coated on metal oxide", *Int. J. Hydrogen Energy*, **47**, 1029(2002).
- 18) 森ヶ崎、谷沢、Liz, 須田、「ボロハイドライド液体燃料のリサイクルに関する研究」、工学院大学研究報告、No. 93, p. 55-59(2002).
- 19) 斎藤、江橋、斎藤、「水素製造用ホウ素ハイドライド転換ホウ素化合物の還元リサイクル」、第100回触媒討論会、予稿集、P011, p. 11(2007).
- 20) 斎藤、「循環型水素燃料前駆体(ホウ素酸化物)の超臨界還元反応」、第5回全国高専テクノフォーラム、p. 73(2007)

- 年六月／東京大学出版会)
- 『日本の歴史 第七卷 武士の成長と院政』(下向井龍彦著／二〇〇一五月／講談社)
- 『説話文学辞典』(長野晋一編／一九六九年三月／東京堂出版)
- 『研究資料日本古典文学③説話文学』(大曾根章介他篇／一九八四年一月／明治書院)
- 『日本文学講座3 神話・説話』(日本文学協会編／一九八七年七月／大修館書店)
- 『日本文学研究大成 中世説話I』(日本文学研究大成刊行会監修／一九九二年四月／国書刊行会)
- 『説話の講座1 説話とは何か』(本田義憲他編／一九九一年五月／勉誠社)
- 『説話の講座5 説話集の世界II ―中世―』(本田義憲他編／一九九三年四月／勉誠社)
- 『説話文学の世界』(池上洵一他編／一九八七年十一月／世界思想社)
- 『中世説話文学研究序説』(志村有弘／一九七四年十一月／桜楓社)
- 『中世説話文学論考』(春田宣著／一九九六年九月／おうふう)
- 『中世説話の世界を読む』(小峯和明／一九九八年一月／岩波書店)
- 『笠間叢書48 続中世文学の思想』(小林智昭／一九七四年十二月／笠間書院)
- 『国文学 解釈と鑑賞』(二〇〇七年八月／至文社)
- 横田隆司『十訓抄』の世界―笛吹き成方の説話から―『(新しい作品論)へ、
〈新しい教材論〉へ』(古典編)3』／前田雅之他編／二〇〇三年一月／右文書院
- 永積安明『十訓抄の世界』『日本の説話4 中世II』／一九七四年六月／東京美術)

るか、一般的に「認知されている身分」を優先させるかの点である。今回の分類においては、後に登場回数の上位層を示すことを念頭にデータ化を進めたため、主に「広く認知されている身分」を優先させた。つまり、当時の人々には広く「左大臣」として認知されている人物が、まだ若く「中将」だったころの話なども、「左大臣の若かりし時のエピソード」として、「上級貴族」の内訳に含めたのである。しかし、登場人物の階層という面にこだわるならば、「中将」の身分で登場する箇所は「中・下級貴族」として分類すべきかもしれない。これらの問題をどうするかは、今後の大きな課題であり、まだ分類の手法として迷うところでもある。

このように、解決すべき問題は多々ある。しかし、これら「登場人物」という名詞に着目し、そのデータ化によってさまざまな観点から数値的に確認可能な形にしているということは、これまででもすると主観に頼りがちになってきた文学研究の世界に今後求められる、重要な一視点であると考えるのである。

注

- (1) 『日本古典文学大事典』(一九九八年六月/明治書院)、『研究資料日本古典文学』(大曾根章介他編/一九八四年一月/明治書院)などでは、「仏教説話」以外を「一般説話」、また『古今著聞集』などを「貴族説話」と呼ぶなどしている。その他、「和歌説話」などという表記もあるが、辞書類や教育現場における一般教材等においては、「仏教説話集」と「世俗説話集」という、この二分類にはば集約されている。

- (2) 『十訓抄』の成立は「建長四年(一二五二年)」、『古今著聞集』の成立は「建長六年(一二五四年)」である。

- (3) 本稿の『十訓抄』における説話数および説話番号については、『新編日本古典文学全集51 十訓抄』(浅見和彦校注・訳/一九九七年十二月/小学館)に従うものとする。

- (4) 同一人物が、説話番号の異なる複数の説話に登場した場合は、その登場回数をそのままのべ人数として数えるものとする。

- (5) 「武士」の規定については諸説あり、武芸官人なども広く「武士」と捉えるものもあるが、ここでは武芸を家業としている中世武士のような人々を「武士」とし、

律令国家の早い時期から存在する「武官」の類はここに分類していない。

- (6) 分類する上での階位は、同一人物の際、編者がよく使っている呼称を基に一つにまとめた。例えば、十ノ五十六話では「後徳大寺左大臣、その時、中納言にて」などという記述がある。「後徳大寺左大臣」とは藤原実定のことであるが、この説話の中ではまだ「中納言」である。しかし、編者がその主語を「左大臣」という呼称にしている通り、一般的には「左大臣に昇った人物」という認識であったものと考え、その当時の階位として分類するのではなく、「左大臣のエピソード」として「上級貴族」にカウントした。

- (7) 『古今著聞集』の本文、説話数・説話番号は、『新潮日本古典集成 古今著聞集 上・下』(西尾光一・小林保治校注/一九八三・六・一九八六・一二/新潮社)に従うことを基本とし、一部筆者により改めた。

参考文献

- ・ 『校本十訓抄』(泉基博編著/一九九六・三/右文書院)
- ・ 『人物叢書 藤原頼長』(橋本義彦/一九六四・九/吉川弘文館)
- ・ 『人物叢書 藤原忠実』(元木泰雄/二〇〇〇・三/吉川弘文館)
- ・ 『國史大辭典』(國史大辭典編集委員会/一九七九・三・一九九七・四/吉川弘文館)
- ・ 『国書人名辞典』(市古貞次他編/一九九三・一一・一九九六・六/岩波書店)
- ・ 『大日本史料』(東京大学史料編纂所編/東京大学出版会)
- ・ 『日本古代史研究事典』(阿部猛他編/一九九五年九月/東京堂出版)
- ・ 『古代史の基礎知識』(吉村武彦編/二〇〇五年三月/角川書店)
- ・ 『新体系日本史1 国家史』(宮地正人他編/二〇〇六年八月/山川出版社)
- ・ 『講座日本歴史3 中世1』(歴史学研究会・日本史研究会編/一九八四年十二月/東京大学出版会)
- ・ 『講座日本歴史2 古代2』(歴史学研究会・日本史研究会編/一九八四年十一月/東京大学出版会)
- ・ 『日本史講座3 中世の形成』(歴史学研究会・日本史研究会編/二〇〇四年七月/東京大学出版会)
- ・ 『日本史講座2 律令国家の展開』(歴史学研究会・日本史研究会編/二〇〇四年七月)

【天皇・上皇以外】

順位	人名	話数	順位	人名	話数
1、	藤原頼長	27話	2、	藤原忠実	21話
3、	藤原家隆	15話	4、	源雅定	14話
4、	藤原孝道	14話	4、	藤原実国	14話
7、	藤原師実	12話	7、	藤原宗輔	12話
7、	藤原孝時	12話	10、	藤原実定	11話
10、	藤原忠通	11話	10、	藤原頼通	11話
10、	藤原実能	11話	14、	藤原師長	10話
14、	大江匡房	10話			

先にも述べたが、『十訓抄』の総話数が約二五〇話であるのに対し、『古今著聞集』は総話数七〇〇話を超える大作であり、このように総話数の異なるものを、単純にその登場回数で比較することはできない。しかし、上位に並ぶ顔ぶれには、かなりの違いが見られる。

まず、天皇・上皇の上位層の違いは、取り扱われる時代の違いでもある。『十訓抄』においては、村上天皇や宇多天皇などが上位に来ており、このことから、『十訓抄』が『古今著聞集』よりも古い時代の例を、積極的に引いていることが見てとれる。また、天皇や上皇以外の人物においてその登場回数の上位者を見ると、『十訓抄』においては撰閣政治の全盛期を築いた藤原道長・頼通親子と並んで、「三船の才」で知られる藤原公任、『俊頼髓脳』を著した源俊頼などの歌人が名を連ねている。また、孔子や白居易などの異国の文化人が上位に来ていることも特徴的である。『古今著聞集』も藤原撰閣家の説話を多く引用する説話集であるが、主にその焦点を当てられているのは藤原忠実・頼長親子とそれを取り巻く人々であり、しかもほとんどの説話を本国の例によっているという点で、大きく性質を異にするものである。ともに、前代に思いを馳せ、そこに理想を見出そうとする王朝回顧的な側面を持つとされる説話集ではあるが、これらの結果だけを見ても、この二つの説話集は、かなり性質の異なる説話集であることが分かるだろう。

4 おわりに——今後の課題——

以上、『十訓抄』における登場者のデータを提示した。『十訓抄』は、『古今著聞集』のように、神仏や鳥獣の類などに幅広く目を向けるといよりは、やはり「人」に着目した説話集であると言えよう。したがって、編纂される説話に登場するのはほぼ「人間」であり、人間のありようを通して、人々にこの世を生き抜く処世術を教えるべく書となっている。また、登場回数の上位を占める人物たちの諸相は、未だ議論のある「編者は誰か」という問題における一つの指針とも成り得るかと思われるが、今回、これらの考察までには至らなかった。今後の課題として、これらの問題も視野に入れておきたい。

本稿で取り扱った『十訓抄』のデータ分析は、あくまでこれから他の説話集に手を広げていくため、どのような項目により登場人物を分類するかの検証でもある。先にも述べたように、多くの説話集にその手法を活用するためには、個々の説話集独自の項目ではなく、ある程度の共通性が見込まれる項目立てが必要となってくる。したがって、今回の分析のように、あえて大まかな分類にとどめ、多くの説話集に共通項が見出せるようにした。大まかな分類の後、同一グループに分類された中からさらにまた共通項を見つけ、徐々に分類を細分化していくというのがねらいである。共通項が見つからなくなった時、それはその説話集の独自性ということになる。

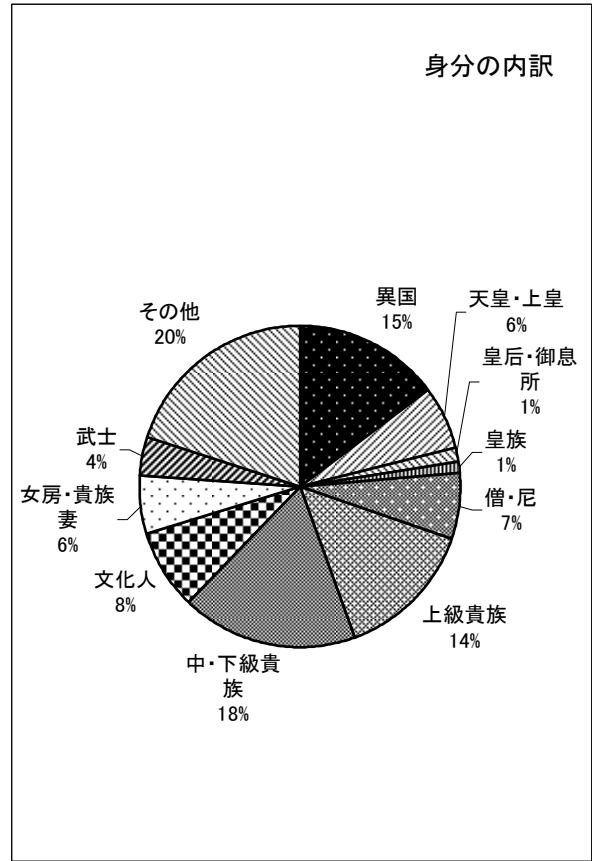
ただし、ここでの視点は、中世の説話集を主としているため、時代を異にすれば、項目立てにも多少の修正が必要になると予測される。各説話集のグループ分けに際し、果たしてここにあげた項目だけで分類が可能であるか、若しくはもう少し詳細な項目を立てるべきかは、これから多くの説話集を分析していきながら検討・修正していかなければならない。あるいは『十訓抄』にはあまり見られない、別の項目立てが必要になる可能性もある。

また、今回実際に分類を試みた上で、その手法に悩んだものもいくつかある。例えば「武士」と分類した人物の中にも、平清盛が太政大臣になったように、「公卿」の身に食い込んだ人物たちがいる。つまり「階位的身分」と「職掌的身分」とが混在していることになり、これらを分けて分析するべきかどうかという点がその一つである。もう一つには、その分類をする際の「身分」について、「話の中での身分」を優先させ

順位	人名	話数	順位	人名	話数
1、	白河院	17話	2、	村上天皇	9話
3、	宇多天皇	7話	4、	一条院	6話
5、	鳥羽院	5話	5、	堀河院	5話

【天皇・上皇】

さらに、『十訓抄』の登場人物の中でも、人物名がはっきりと記されているもの、または役職名や通称を記すことにより、誰のことが推測できるものについて、その人物が何話の説話に登場したか、その登場回数を調べてみると、以下のような結果が得られた。



(グラフ4)

順位	人名	話数	順位	人名	話数
1、	鳥羽院	25話	2、	白河院	24話
3、	後鳥羽院	22話	3、	後白河院	22話
5、	堀河院	13話	6、	順徳院	10話

【天皇・上皇】

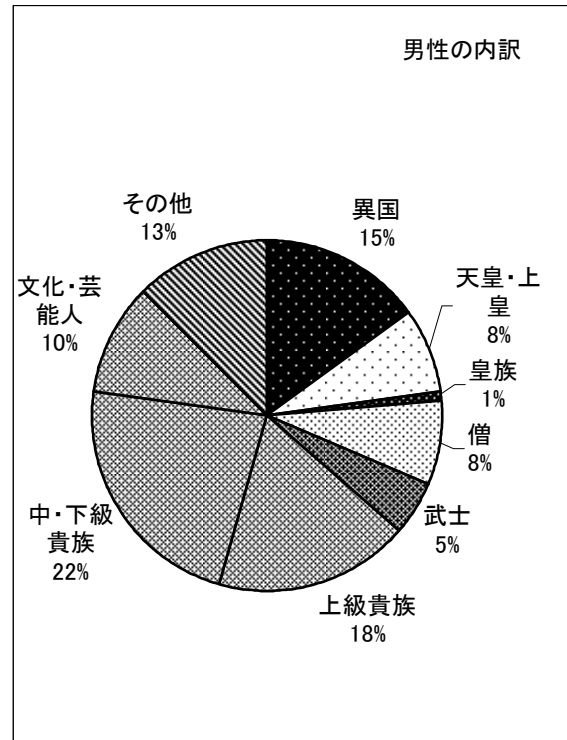
一方、成立時期が『十訓抄』と二年しか違わない『古今著聞集』において、同様の調査を行なうと、次のような結果となった(7)。

順位	人名	話数	順位	人名	話数
1、	藤原公任	10話	1、	藤原道長	10話
3、	源俊頼	9話	4、	藤原頼通	8話
5、	孔子	7話	6、	白居易	6話
6、	菅原道真	6話	6、	菅原文時	6話
6、	藤原斉信	6話	6、	藤原保昌	6話
6、	源義家	6話	6、	源頼政	6話

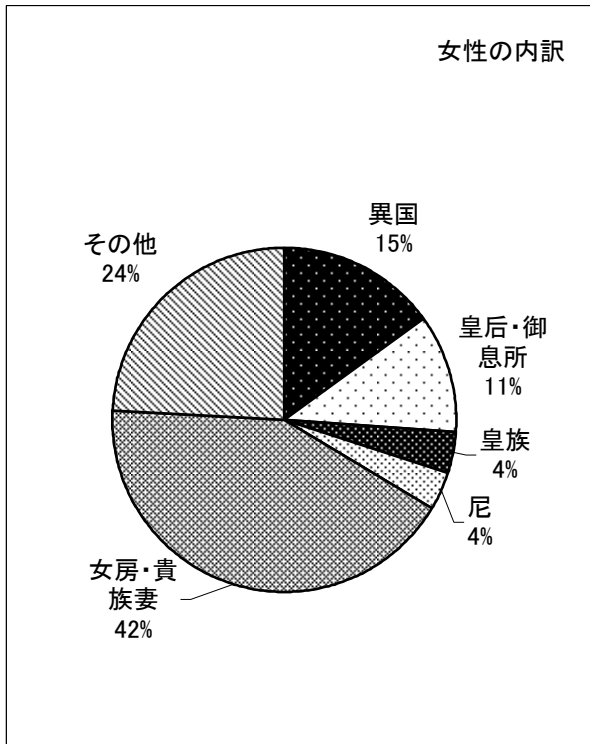
【天皇・上皇以外】

天皇や上皇の名前は例話の時期を示す一つの指標であり、宮中行事等には欠かせない存在であるため、話の中心ではなくとも登場回数は必然的に多くなる。したがって、単純にこれらと一緒にして順位を示しても、その特色が分かりづらいため、天皇・上皇とその他の人物とで順位を別に示した。同じ話数の人物においては、同率順位として記している。

(グラフ2)



(グラフ3)

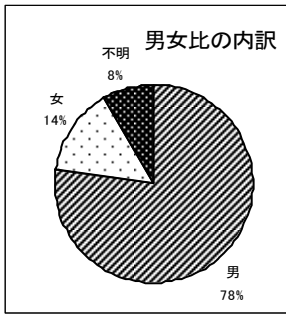


〈グラフ2〉における、「上級貴族」「中・下級貴族」「文化・芸能人」はすべて貴族層の間である。男性の登場人物のうちの約四十六%が貴族層の人々を描いたものであることが分かる。この説話集が取り扱う時代においては、貴族が政治の中心として絡むため、当然その割合は高くなる。したがって、この貴族層においては、先の三つの区分に分け、さらにその階位層の内訳がわかるようにした。ここでいう「上級貴族」とは、いわゆる「公卿」と呼ばれる人々、つまり三位以上の官位相当官、および参議の貴族たちを指す。太政大臣、摂政・関白、左・右大臣、内大臣などが主であり、政治の中枢において権力を振るっていた人物たちである。それに続く「中・下級貴族」は、主に四・五位の貴族たちを示しており、いわゆる「殿上人」と呼ばれる人々まではこの項目に分類した。それより低い階位にある人物については「その他」に分類している。ただし、階位としてはそれほど高くない地位にありながらも、「学者」「博士」など文化的地位の高い人物や、ある書の執筆者としてその当時から認知され、説話中にその書の内容を引用されたりしている人物など、また優れた芸能を持つ人物などについては、単に身分の低い貴族としての扱いを超えていたものと考えられる。したがって、これらに相当する「中・下級貴族」については、別に「文化・芸能人」として分類した。

女性の方は、男性ほど表舞台に出ないこともあり、登場人数としては少なからざるを得ず、またはつきりとした階位等を示すことはできない。しかし、女性の登場人物の総数に対し、どのような階層の人物がどのくらいの割合を占めているかを見てみると、男性の内訳と似たような傾向を示す。〈グラフ3〉に示したのがそれである。女性の場合の内訳は、中宮・女御などを「皇后・御息所」として一グループとし、宮仕えをしている女房クラスの人物と、公卿などの北の方を、男性の「貴族」に相当する一群とし、「女房・貴族妻」として二グループにした。

これらをまとめ、『十訓抄』の登場人物全体の諸相を、総数に対する人数割合として示したのが、次の〈グラフ4〉である。

これを見ると、『十訓抄』においては、登場人物のうち約十五%を異国の人々が占めている。『古今著聞集』においては、例話の多くを自国の説話に求める傾向があるが、『十訓抄』においては多数の中国の例話が引用されており、それが数値として表れた形になっている。



男性が二二〇名、女性が二二七名であり、女の性別がはっきりしないものが一二九名であった。これを割合にすると、約七七・三%が男性、一四・五%が女性、残り八・二%が性別不明ということになる。

〈グラフ1〉

『十訓抄』の場合、人以外の占める割合は割に満たない。したがって、ここでは人物中心に、その詳細な内訳を見ていくことにする。のべ一五六名の登場人物について、その男女比を示したものが、次の〈グラフ1〉である。

人物……一五六六(九一・二%)
 神仏・もののけ・物……九〇(五・二%)
 人以外の動物……六〇(三・五%)

前述の手法に基づき、『十訓抄』の序文・跋文・小序を除く全二五二話⁽³⁾についてのデータを示す。

登場者(人以外も含む)の総数は、のべ一七二六⁽⁴⁾にのぼる。次に示したのは、実際の登場数であり、()の中の数値は、総数に対してそれが占める割合である。

3 『十訓抄』の登場人物

以上の手法を用い、登場人物をデータ化していくこととする。

「人々」「御前の人」など、説話中に不特定多数を示す語、あるいはそれと同様に、人数や対象のはっきりしないような語が出てきた場合の取り扱いであるが、話の展開に多少なりとも関わる場合もあり、一概に切り捨てるのも難しい。したがって、このような語については、例え複数数を指している語であっても、一名詞として「一人」とカウントする。ただし、直接話の展開に関わるものではなく、一般論として述べられる「世の人」などという語については、これをカウントしない。

これらをさらに詳細に分析していくと、次にあげる〈表1〉のようになる。

本国						異国	
1318 (84.7)						248 (15.9)	
その他	武士 ⁽⁵⁾	僧	貴族	皇族	天皇上皇	198 (12.7)	男 1210 (77.8)
167 (10.7)	67 (4.3)	102 (6.6)	560 (36.0)	11 (0.7)	105 (6.7)		
その他	武士の妻	尼	女房 貴族の妻	皇族	皇后 御息所	34 (2.2)	女 (14.6)
55 (3.5)	0 (0)	8 (0.5)	96 (6.2)	9 (0.6)	25 (1.6)		
113 (7.3)						16 (1.0)	不明 129 (8.3)

表における数値は人数を示したものであり、()内の数値は総人数に対してその人数の占める割合をパーセンテージで示したものである。男女により、階層の違いはあるが、なるべく男女共に、同じような階層にある人物が上下に並ぶような形で表に示している。これらを男女別にグラフ化したのが、次に示す〈グラフ2〉〈グラフ3〉である。⁽⁶⁾

を見ていけば分かることであり、登場人物に着目することは、これらの特質を探る点から言っても好都合なのである。

以上の理由から、筆者は登場人物の分析を通して、個々の説話集の傾向のデータ化を試みる。まずはその手始めとして、ここに『十訓抄』のデータを示したい。これは以前、三大説話集の一つ『古今著聞集』の分析を手がけつつも、データ量の多さに分類法を精査しきれなかった反省を踏まえ、ほぼ同時期に成立した⁽²⁾ やや小規模な説話集で、これから他の説話集を分析していく際の視点を、いくつか見出そうというものである。

2 データ分析の手法

実際に登場人物のデータを分析していくにあたり、まずはその手法について、ここで整理しておきたい。これは、本稿で扱う『十訓抄』の分析のみならず、他の説話集の分析の際にも共通の手法として用いることを目的とするものである。これまで『古今著聞集』や『十訓抄』の分析を進めてきた中で、問題となった部分を踏まえつつ、次の七点を当面のルールとして規定したい。

(1) 登場人物のカウントの仕方について

登場人物のカウントは、説話集に収録される説話、一話ごとに行なう。人物を示す名詞が出てきた時点で一カウントとするが、一話中に同一人物が複数回出てきた場合には、すでにカウントしたものとし、重複してカウントすることは行わない。

(2) 神仏や動物など、人以外のもののカウントについて

通常「登場人物」としてあげられるのは、「人間」である。しかしながら、説話集の中では、神仏や動物たちの行為が人同様に語られ、それが話の展開に大きく関わる場合も数多く存在する。例えば、『古今著聞集』における、巻一の「神祇」篇や巻十七の「怪異」「変化」篇、巻十九「草木」篇、巻二十一「魚虫禽獸」篇などは、その篇名が示す通り、まさに人間以外が主となる説話が集められたものである。このような説話の一群がある以上、これら人間以外の登場者たちも見逃すことはできない。したがって、話の展開に関わる神仏やもののけ、人以外の動物なども、その数をカウントしていくものとする。ただし、単に人の道具として登場

する動物などの場合、例えば、ある人物が移動する際に使用する馬などで、話の筋に直接関わらないものはカウントしないものとする。

(3) 抄入部の取り扱いについて

説話集の中には、当初の編者とは別の、後人による追記が行なわれているものも多く存在する。『古今著聞集』にも後人の追記と思われる、『十訓抄』からの多くの抄入部が見受けられるが、これらは本来の編者の意図に沿った形で抄入されるとは限らず、場合によっては、説話集全体の性質を大きく変えてしまう恐れすらある。このような抄入部を分析の対象にすることは、その説話集の本来の形を見失わせることにもなりかねない。したがって、これらの部分はカウント対象の説話とはしないことにする。

(4) 序文・跋文・小序の取り扱いについて

説話集の中には、編者自らが編纂の意図や説話集の形について解説的な文言を並べる序文や跋文、また篇ごとのまとめの言としての小序を置くものが少なくない。これらはいくまで編者が説話集全体、もしくは篇全体の特色を総括的に述べるものであって、一つの話としての展開が見られるわけではない。したがって、これらの部分は、カウント対象の説話としない。

(5) 時世を表す人物名の取り扱いについて

説話の中には、その冒頭などに、時代を示す「〆院の御代に」などという表現が付される場合がある。天皇や上皇、時の権力者などの名が付されるのだが、話の展開の中には直接その人物が登場しないこともある。これらの人物名は、説話集全体において、どのような時期が多く取り扱われているかを示す重要な情報源であるが、実際に話に登場した人物と同列に扱うことは難しい。このように、時世を示すためのみに使用される人物名については、また別の機会をもって扱うこととし、「登場人物」としてここではカウントしないものとする。

(6) 歌や詩の人物名について

ある人物が詠んだ歌や詩の中に、人物名などが登場する場合もあるが、これも話の展開そのものには直接関わらない場合が多い。話の展開に関わる場合には、地の文に改めてその人物名が出てくるため、歌や詩の中の名詞についてはカウントしないものとする。

(7) 不特定多数を示す名詞の取り扱いについて

1 はじめに

そもそも「説話」とは何かという問題が長い間論じられてきたように、「説話」の世界は幅広く、多様である。「説話集」もまた同様であり、現在「説話集」として位置づけられている作品群も、その性質はさまざまであり、なかなか一言でその分野の特質を述べるのは難しい。しかし、この多種多様な説話集は、大まかに二種に分類されることが一般的になっている。いわゆる「仏教説話」と「世俗説話」の二種である¹⁾。その中で、『宇治拾遺物語』や『古今著聞集』、『十訓抄』などは、「世俗説話」に分類される説話集である。

これだけ多様な世界を二つのグループに大別するだけでは、やはり少々乱暴すぎるようにも思われるのだが、むしろ、多様すぎて大まかにしか分類できなかったというべきかもしれない。しかし、これ以上詳細にグループ分けをすることは、本当に不可能なのであろうか。

本稿は、この「説話集の分類」という観点から、各説話集の間の共通項を数量的なデータによって比較、グループ分けできないかと試みるものである。そのグループ分けのための項目として、ここでは「登場人物」を取り上げることとする。

ここで、なぜ「登場人物」にこだわるかについて述べておく。主な理由は次の四点である。

- 1、グループピングのためには、各説話集の間に必ず存在する共通項がなければならず、それが「登場人物」である。
- 2、分類の対象となる語は、なるべく複数の意味を持たず、内容にぶれないものが好ましい。
- 3、「登場人物」は数量としてカウントできるため、ある程度の客観性が得られる。
- 4、「誰」もしくは「どのような階位・職掌にある人物」が登場しているかを分析することにより、個々の説話の時代性や、描かれる人物階層の傾向などを知る

まず、1についてであるが、どの説話にも必ず存在するものが「登場人物」である。これなしに語られる説話はない。したがって、いつの時代のどの説話集を扱っても比較ができるという利点がある。

次に2についてであるが、他の自立語である形容詞、形容動詞、動詞などを見ると、時代によって使われる言葉が変化してきたり、同じ語であっても意味の違いがあったりと変遷が見られる場合が多々ある。特に時代の違う説話集を扱う際、これらの問題は見過ごせなくなる。つまり、単純に同じ言葉を同じものとして比較してよいかという点で疑問が生じるのである。名詞は、その「変遷」という点において、最も時代に左右されづらい品詞と言つてよいのではないだろうか。

3については、文学の世界においても、なるべく主観を排除し、客観的に比較できる数値的データの検証が必要だという観点に基づいたものである。文学作品を読み解いていくにあたり、主観を抜きにして語ることにはほぼ不可能であり、それはこの分野に携わるものにとつて、ある意味宿命とも言つべきものである。よつて、これまでの文学作品における分類もまた、そこに語られる内容や編者の趣向を、研究者たちの鋭い感性によって傾向付けるといふ、主観的態度に頼ってきたのではあるまいか。しかし、現在ではパソコン等の機器の発達により、膨大な情報量をあらゆる形で保存し、必要に応じて取り出すことが可能になった。人物などは、登場した回数、人数を単純に数値としてカウントすることが可能であり、データ化しやすい。また、このようなデータは、時に編者自身も意図していなかったその傾向をも、数値として示すことが可能である。もちろん、各説話集により、収録話数はまちまちであるため、単に数による比較はできない。しかし、各説話集の登場人物総数に対する割合という形で比較するならば、その客観性を維持することができると思われる。

4については、説話集の特質を述べる際によく項目にあがる内容である。その説話集がいつの時代を舞台としているか、また、どのような階層の人々を対象として説話が展開しているかということであるが、言うまでもなく、これはそこに登場する人物

文部科学省 科学研究費補助金採択研究（平成20年度）

研究種目	学科名	職名	氏名	研究課題
〔継続〕 基盤研究(C) 一般	機械システム 工学科	教授	鯉 淵 弘 資	非均質な膜モデルにおける相転移とその応用法に関する研究
【新規】 若手研究(B)	人文科学科	准教授	杉 浦 理 恵	高等専門学校生のニーズに応じたタスクの開発とその実施効果に関する研究
〔継続〕 若手研究(B)	人文科学科	講師	奥 山 慶 洋	モバイルラーニングと融合した英語語彙学習用eラーニングコンテンツの作成
〔継続〕 若手研究(B)	人文科学科	講師	大 塚 賢 一	公立高校入試英語リスニングテストにおけるタスクタイプが成績解釈に与える影響
〔継続〕 若手研究(B)	物質工学科	准教授	宮 下 美 晴	チキン・キトサンへのラクチドのグラフト化による環境調和型高分子材料の設計
【新規】 若手研究(B)	物質工学科	准教授	小松崎 秀 人	トリスピラゾリルボレート配位子を持つマンガンセミキノナト錯体の合成と性質の解明
【新規】 若手研究 (スタートアップ)	電気電子 システム工学科	助教	丸 山 智 章	歯科CADのための歯牙滑走運動シミュレータの開発

文部科学省 原子力研究環境整備補助金採択事業

事業種目	学科名	職名	氏名	教育研究課題
平成19年度 原子力研究 促進事業	自然科学科	准教授	松 澤 孝 男	①課外活動を通じたエネルギーと原子力及び身のまわりの自然放射線の簡易測定に関する研究教育
	機械システム 工学科	准教授	富 永 学	②原子力プラント構造材料の強度評価に関する研究教育
平成20年度 原子力研究 促進事業	自然科学科	准教授	松 澤 孝 男	①課外活動を通じた低学年の学生へのエネルギーと原子力エネルギーに関する興味喚起・涵養教育及び身のまわりの自然放射線の簡易測定に関する研究教育
	機械システム 工学科	准教授	富 永 学	②学生のインターンシップや研究活動を通じた原子力分野の専門教育の実施

外部資金受入による共同研究・受託研究（平成19年度）

【共同研究】

学 科 名	職 名	氏 名	研 究 課 題
機械システム工学科	教授	◎ 根 本 栄 治	ハイエット処理物質の熱物性測定及びその応用に関する研究
機械システム工学科	教授	押久保 武	携帯用マグネシウムスロープの荷重試験及び開発研究
機械システム工学科 機械システム工学科 電子制御工学科	教授 教授 准教授	押久保 武 柴田 裕一 ※◎岡本 修	干し芋皮むき機の開発
機械システム工学科 機械システム工学科 電子制御工学科	教授 教授 准教授	押久保 武 柴田 裕一 ※◎岡本 修	干し芋加工の自動化装置の開発
機械システム工学科 電子制御工学科	准教授 准教授	柴田 裕一 ※ 荒川 臣 司	列車車両洗浄装置の性能向上に関する研究
電子制御工学科 電子制御工学科	教授 准教授	滑川 英世 ※ 飛田 敏 光	組込みシステム開発エンジニア養成講座カリキュラムの研究
電子制御工学科 電子制御工学科	教授 准教授	滑川 英世 ※ 飛田 敏 光	LEDと太陽電池を用いた音声通信システムの応用に関する研究
電子制御工学科	准教授	金 成 守 康	柔軟材料の機械特性試験法に関する研究
電子制御工学科	准教授	菊 池 誠	接触検出機構付き拡大機構の性能の改善
電子制御工学科	准教授	◎ 岡 本 修	GPS測量作業の省力化
電子制御工学科	准教授	◎ 岡 本 修	地点設定システムの研究開発
電子制御工学科	准教授	◎ 岡 本 修	GPS測量の精度改善に関する研究
電気電子システム工学科	教授	長 野 眞 康	融雪用磁性材料の発熱特性改善方策に関する研究
電気電子システム工学科	准教授	若 松 孝	エバネッセント光の応用利用技術開発
電子情報工学科 電子情報工学科	准教授 助手	山 口 一 弘 ※ 弥 生 宗 男	新規磁性材料の開発と応用
物質工学科	嘱託教授	斎 藤 保 夫	メタホウ酸ナトリウムに関する水素化反応の高効率化
物質工学科	教授	富 田 豊	化粧品原料としての磁気活性水の応用研究
物質工学科	教授	富 田 豊	磁気活性水の応用に関する研究
物質工学科	教授	富 田 豊	食用蛸の内臓の高付加価値有効利用に関する技術開発
物質工学科	准教授	宮 下 美 晴	和紙繊維の雪晒しの効果の形態観察とトロロアオイ多糖の複合化

【受託研究】

学 科 名	職 名	氏 名	研 究 課 題
機械システム工学科 機械システム工学科 機械システム工学科	教授 教授 教授	谷 山 久 法 ※ 押久保 武 柴田 裕一	機械工具（打撃スパナ）の損傷解析
機械システム工学科	准教授	富 永 学	動的マイクロスペックルパターン干渉とマイクロ磁気探傷法による材料評価システムの開発
電子制御工学科	准教授	金 成 守 康	先進ナノ有機薄膜のための高感度力学特性計測技術の開発
電子情報工学科	助教	布 施 雅 彦	地域医療情報連携システムの構築
物質工学科	嘱託教授	斎 藤 保 夫	高密度水素製造用固体無機ハイドライド材料の循環型利用 ～（その3）超臨界流体および担持金属触媒を用いたホウ素酸化物の新規還元法～
物質工学科	教授	谷 口 昭 三	石けん製造技術
自然科学科	准教授	原 嘉 昭	デスクトップ型結晶育成装置iAceを用いた分解溶融型化合物半導体単結晶作製
	校長	角 田 幸 紀	将来アンテナ技術の研究

注）※は研究代表者、◎は研究重点教員

教員事績（平成19年10月～平成20年9月）

人文科学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号（年、月）	備考
平本 留理	登場人物に見る説話集編纂の意図— 『古今著聞集』を中心に—	説話文学会2008年度大会（2008.6）	口頭発表
桐生 貴明	志村有弘編『司馬遼太郎事典』 「朱盜」,「考古学」	勉誠出版 pp.92-93, pp.273-275（2007.12）	項目執筆
瀬尾 邦雄	荻生徂徠の個性の問題について	茨城工業高等専門学校研究彙報 第43号 pp.107-112（2008.3）	
三好 章一 渡部 章 渡部 博子	高等専門学校生のキャリアプラン	実業之日本社（2008.8）	
三好 章一	創造性を育成する授業形態の実践事例 —その2—茨城高専日経新聞主催第7 回全国対抗円ダービーユニーク賞受賞 の紹介—	日本工学教育協会平成20年度工学・工業教 育研究講演会講演論文集（2008.8）	
三好 章一 川崎 健史1) 國井 嘉仁2) 小松崎 優3) 齊藤 千弘4) 田山 宗徳5)	創造性の育成を狙った授業形態の導入 事例「国際経済論」	茨城工業高等専門学校研究彙報 第43号 pp.1-7（2008.3）	1)～5)平成19年度電子 制御工学科卒業生
箱山 健一	Aspect of Globalized World Economy and the Subject of Engineering Education in East Asia.	王紀安・井上雅弘編『首届中日高職高専教育 论坛文集』pp.289-295天津大学出版社 （2008.5）	
箱山 健一	A Prospect of Globalized World Economy and the Subject of Engineering Education in East Asia.	茨城工業高等専門学校研究彙報 第43号 pp.9-12（2008.3）	
杉浦 理恵 東野 裕子1) 高島 英幸2)	「話す力」の基盤を育成する「タスクを志 向した活動」—小学校における授業と評 価—	日本児童英語教育学会研究紀要 第26号 pp.77-97（2007.10）	1)兵庫県西宮市立高木 小学校 2)東京外国語大学
杉浦 理恵	高等専門学校生の英語の時制と相の理 解に関する一考察	茨城工業高等専門学校研究彙報 第43号 pp.13-22（2008.3）	
杉浦 理恵	目標文法項目の定着のためにインプ ットとアウトプットが果たす役割に関する実 証研究—タスク活動とリスニングタスクを 用いた時制と相の学習を中心に—	全国英語教育学会第34回東京研究大会発表 予稿集 pp.410-411（2008.8）	
K. Otsuka	The effect of item stems, answer options, and repetitions on listening comprehension tests for Japanese highs school learners of English.	Proceedings of the 13th conference of Pan- Pacific Association of Applied Linguistics. pp.170-171.（2008.8）	
大塚 賢一 根岸 純子1)	短期海外語学研修が参加者の英語力 に与える影響と英語使用・英語授業不 安との関係	第34回 全国英語教育学会 東京研究大会発 表予稿集 pp.302-303（2008.8）	1)早稲田大学
大塚 賢一	2週間の海外語学研修が学生の英語コ ミュニケーション能力と英語学習不安に 与える影響とその期間	関東甲信越英語教育学会研究紀要 第22号 pp.35-46.（2008.3）	
K. Otsuka	The effect of previewing item-stem and answer options, and the effect of repetition of a text in listening comprehension tests.	Proceedings of the 12th conference of Pan- Pacific Association of Applied Linguistics. pp.190-191.（2007.12）	

教員事績 (平成19年10月～平成20年9月)

自然科学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号 (年、月)	備考
松久 隆	Nash Equilibrium as Stationary Point in Communiation	The 7th International Conference on Optimization: Techniques and Applications (ICOTA7), Kobe (Japan) December 12-15, 2007, Abstracts, pp.27-28 (2007.12)	国際会議発表要旨・査読有
松久 隆	Communication Leading to Nash Equilibrium through Robust Messages in S4-Knowledge Model	International Conference on Mathematics: Trends and Developments (ICMTD07) December 27-30, 2007, Cairo (Egypt), Abstracts, p.126 (2007.12)	国際会議発表要旨・査読有
松久 隆	Communication Reaching Consensus through Robust Messages I	MTE 2008 Proceedings, Mathematics, Technology and Education, February 15-17, 2008, pp.77-82 (2008.2)	国際会議論文・査読有
松久 隆	Bayesian Communication Leading to Nash Equilibrium Through Robust Messages - p-Belief System Case -	N.T. Nguyen (Eds.): KES-AMSTA 2008, Lecture Notes in Artificial Intelligence, Springer Vol. 4953, pp.654-663 (2008.3)	国際会議論文・査読有
松久 隆	Communication Leading to Nash Equilibrium through Robust Messages in S4-Knowledge Model	Proceedings of the Second International Conference on Mathematics: Trends and Developments. The Egyptian Mathematical Society. Volume 1, pp.215-226 (2008.4)	国際会議論文・査読有
松久 隆	Communication Reaching Consensus through Robust Messages	米田二良編著「代数、言語のアルゴリズムと計算論」京都大学数理解析研究所講究録 No.1604, pp.50-56 (2008.6)	国内論文・査読無
松久 隆	Agreement in Communication through Robust Messages	International Conference Operations Research 2008 (GOR2008), September 3-5, 2008, Augsburg (Germany), Program and Abstract p.219 (2008.9)	国際会議発表要旨・査読有
松久 隆	Consensus on Truth in Communication through Robust Messages	Logic, Algebra and Truth Degrees, First Workshop of the Working Group on Mathematical Fuzzy Logic, 8-11 September 2008, Siena, Italy, Abstract, pp.48-50 (2008.9)	国際会議発表要旨・査読有
松久 隆 鯉淵 弘資 1)	MTE 2008 Proceedings, Mathematics, Technology and Education	Ibaraki National College of Technology, 148 pp. (2008.2)	共編著書・査読有 1) 本校機械システム工学科
長野 眞康 1) 松久 隆 鯉淵 弘資 2)	Ibaraki National College of Technology Improving Research Achievements of Faculty Members	MTE 2008 Proceedings, Mathematics, Technology and Education, February 15-17, 2008, pp.109-115 (2008.2)	共著・国際会議論文・査読有 1) 本校電気電子システム工学科 2) 本校機械システム工学科
松久 隆 石川 竜一郎 1)	Rational Expectations Can Preclude Trades	Advances in Mathematical Economics, Springer Vol. 11, pp.105-116 (2008.6)	共著・学術論文・査読有 1) 筑波大学大学院システム情報工学系
中川 英則	スペクトル確率有限体積法の提案とその基礎的考察	茨城工業高等専門学校彙報 第43号 pp.59-62 (2008.3)	
松沢 孝男	放射線に興味を持たせる理科教育とは—先ず教員が放射線に興味を持つことから始まる—	F B News, 千代田テクノル、No.370 p.3-7 (2007.10)	

自然科学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
松沢 孝男 ほか	身のまわりの色素を使って色素増感型太陽電池を作る試み	茨城工業高等専門学校研究彙報、第43号(2008.3)	ラジオ部
松沢 孝男 ほか	宇宙線の測定を目指した富士登山	茨城工業高等専門学校研究彙報、第43号(2008.3)	ラジオ部
松沢 孝男 ほか	原子炉の寿命を考慮した原子力発電の設備容量の将来予測と原子炉の建て替えの試案	茨城工業高等専門学校研究彙報、第43号(2008.3)	ラジオ部
松沢 孝男 ほか	文部科学省教育支援事業「高校生のための地域の原子力・エネルギー学修プログラム」の受け入れによる文化系クラブの活性化の試行	高専教育、第31号 pp.659-664 (2008.3)	ラジオ部
富永 学 松沢 孝男	原子力発電所に隣接する高専における低学年の学生に対する原子力・放射線への興味の喚起・涵養と、上級生に対する原子力分野の専門教育	日本原子力学会シンポジウム、「稔りある原子力人材育成を目指して」予稿集 (2008.6)	
後藤 はるな ¹⁾ 松本 恭平 ¹⁾ 日時 彩加 ¹⁾ 後藤 沙由里 ¹⁾ 宮野 遥 ¹⁾ 箕輪 栞 ¹⁾ 松沢 孝男	花力発電、～持続可能な社会を目指して～、一身の回りの色素を用いた色素増感型太陽電池の試作	日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集、39B (2007.11)	1)ラジオ部
松沢 孝男 ほか	富士山を自由研究・自然観察の場//富士山測候所及び山頂付近での環境放射線測定	日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集 37B (2007.11)	ラジオ部
原 嘉昭 阿久津 恵一 ¹⁾ 中岡 鑑一郎	b-FeSi ₂ とSiの共析混合物からの近赤外発光	明治大学先端半導体ワークショップ プロシーディングス p42-45 (2007.10)	国内研究会プロシーディングス[査読無] 1)平成19年度専攻科AEコース1年生
T.Ootsuka ¹⁾ T.Suemasu ¹⁾ J.Chen ²⁾ T.Sekiguchi ²⁾ Y.Hara	Lifetime and diffusion length of photogenerated minority carriers in single-crystalline n-type β -FeSi ₂ bulk	APPLIED PHYSICS LETTERS 92,192114 (2008)	学術論文[査読有] 1)筑波大学 2)物質材料研究機構
原 嘉昭 中岡 鑑一郎	β -FeSi ₂ バルク結晶の作製と物性評価	第11回シリサイド半導体夏の学校テキスト p.5 (2008.8)	招待講演・国内研究会予稿集[査読無]
阿久津 恵一 ¹⁾ 原 嘉昭 中岡 鑑一郎 山本 博之 ²⁾	β -FeSi ₂ とSiの共析混合物の作製と近赤外PL発光	第69回応用物理学会学術講演会講演予稿集 p.1227 (2008.9)	国内会議発表要旨[査読無] 1)平成20年度専攻科AEコース2年生 2)原子力機構
渡邊 義孝	大気中における有害物質の測定とその評価 (3)	日本化学会第87回春季年会講演予稿集 (2008.3)	
渡邊 義孝 添田 孝幸	茨城高専における指静脈による寮の点呼の取り組みについて	論文集「平成20年度高専教育講演論文集」 p.107-110 (2008.8)	国内発表要旨[査読有]

教員事績 (平成19年10月～平成20年9月)

機械システム工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号 (年、月)	備考
根本 栄治 高橋 飛鳥1) 鈴木 直行2)	集積型多点温度プローブ法による二次元異方性物質の主軸熱物性測定	第28回日本熱物性シンポジウム講演論文集、p.106-108 (2007.10)	1)平成19年度専攻科修了生 2)平成18年度機械工学科卒業生
根本 栄治 高橋 飛鳥1)	赤外線カメラ温度プロファイリング法によるTi-Y-Ba-Cu-O系物質の主軸熱物性測定	第28回日本熱物性シンポジウム講演論文集、p.121-123 (2007.10)	1)平成19年度専攻科修了生
根本 栄治	日本熱物性学会創立25周年記念出版、さーもふいじしすと	日本熱物性学会、p.179-189 (2007.10)	共著
E.Nemoto T.Gunji 1) K.Yamashita2) H.Nukaga 2)	Simultaneous Separation Measurement of Principal Thermal Conductivity and Principal Axis Angle of PGS Carbon Graphite for Two-dimensional Anisotropic Material Using Integrated Multi-temperature Probe Method	1st International Symposium on Thermal Design and thermophysical Property for Electronics, Tsukuba, Japan, p.120-122(2008.6)	1)平成19年度機械工学科卒業生 2)平成19年度専攻科1年生
根本 栄治	特許、熱流計式多点温度測定法による二次元異方性物質の主軸熱物性値測定方法およびその測定装置	特願2004-23725、特開2005-214858	
高野橋 悠1) 谷山 久法	鋼の結晶粒に及ぼす熱処理温度の影響に関する基礎研究 -顕微鏡組織を利用したマイクロデバイスについて-	日本機械学会茨城講演会講演論文集、pp151-152、(2008)	1)平成20年度専攻科2年生
杉浦 亮太1) 守本 直樹2) 西野 創一郎3) 大屋 邦雄4) 押久保 武 浅野 誠5) 澤 幸雄6)	プレス加工製品の強度信頼性評価	社団法人自動車技術会、2008年春季大会 学術講演会前刷集No.18-08,pp15-18(2008.5)	1)茨城大学大学院 2)茨城大学 3)茨城大学大学院 4)大屋技術伝承塾 5)浅野 6)菊池プレス工業
鯉淵 弘資	Surface tension in an intrinsic curvature model with fixed one-dimensional boundaries	Journal of Statistical Mechanics, P08008, (2008)	
鯉淵 弘資	Phase structure of a surface model with many fine holes	European Physical Journal E Vol.26, pp.301-308 (2008)	
鯉淵 弘資	Possible effects of tilt order on phase transitions of a fixed connectivity surface model	Physical Review E Vol.77, 021104(1-8) (2008)	
鯉淵 弘資	Shape transformations of a compartmentalized fluid surface	Physical Review E Vol.76, 061105(1-5) (2007)	
鯉淵 弘資	Shape transformation transitions of a tethered surface model	European Physical Journal B Vol.59, pp.405-411 (2007)	
鯉淵 弘資	Phase transitions in a fluid surface model with a deficit angle term	European Physical Journal B Vol.59, pp.55-62 (2007)	
鯉淵 弘資	Phase transition of meshwork models for spherical membranes	Journal of Statistical Physics, Vol.129, pp.605-621 (2007)	
鯉淵 弘資	Phase structure of a spherical surface model on fixed connectivity meshes	Physics Letters A Vol.371, pp.278-284 (2007)	

機械システム工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
石田 尚俊1) 鯉淵 弘資	2重膜構造をもつ面積エネルギー膜モデルの相転移	日本機械学会茨城講演会講演論文集, pp.91-92 (2008)	1)平成20年度機械システム工学科5年生
Y.Shibata T.Okano 1) M.Kawaji 2)	Experimental and Analytical Study of the Motion of a Liquid Slug and Ferrofluid in a Microchannel	AIChE, Spring National Meeting, 2008	1)平成18年度機械工学科卒業生 2)トロント大学
柴田 裕一 川路 正裕1)	マイクロチャンネル内を移動する二重滴の界面変形に関する研究	日本混相流学会年間講演会, 講演論文集, E134, pp382-383,(2008)	1)トロント大学
松沢 孝男 奥山 慶洋 富永 学 関根 恵1) 会澤 雄基2) 大沼 侑2) 松田 理恵2) 斎藤 史靖2)	原子炉の寿命を考慮した原子力発電の設備容量の将来予測と原子炉建て替えの試案	茨城工業高等専門学校研究彙報、第43号 pp.23-34 (2008.3)	1)元ラジオ部学生 2)ラジオ部学生
松澤 孝男 奥山 慶洋 富永 学 関根 恵1) 大沼 侑史2) 会澤 雄基2) 高崎 良一2) 斎藤 史靖2) 菊池 貴宏2) 園部 亜由美2) 根本 和樹2) 浅野 健2) 込山 裕之2) 川和 祐一2) 平田 恵利2) 松田 理絵2) 松本 恭平2) 三井 雅治2) 高柳 拓也2) 伊藤 健治2)	文部科学省教育支援事業「高校生のための地域の原子力・エネルギー学習プログラム」の受け入れによる文化系クラブの活性化の試行	論文集「高専教育」、第31号 pp.659-664 (2008.3)	1)元ラジオ部学生 2)ラジオ部学生
富永 学 松澤 孝男	原子力発電所に隣接する高専における低学年の学生に対する原子力・放射線への興味の喚起・涵養と、上級生(本科卒研学生および専攻科特別研究学生)に対する原子力分野の専門教育(原子力プラント構造材料の強度評価)の実施	原子力人材育成シンポジウム資料集 - 稔りある原子力人材育成を目指して -, pp.31-32 (2008.6)	
豊岡 了1) 富永 学	動的ESPIによる金属の引張試験における変形の全過程計測 - 磁気的手法による計測結果との相互評価 -	光技術コンタクト、第46巻、第6号 pp.270-33 (2008.6)	1)元埼玉大学大学院理工学研究科
富永 学 豊岡 了1)	低ひずみ速度域におけるSUS304ステンレス鋼の特異な変形挙動と加工誘起マルテンサイト変態	日本金属学会誌、第72巻、第8号 pp.565-570 (2008.8)	1)元埼玉大学大学院理工学研究科
照沼 勇人1) 池田 耕	デジタルホログラム粒子画像を用いた微小管内屈折率計測	可視化情報学会全国講演会2007 vol.27 Suppl.No2 pp105	1)専攻科2年生
小室 孝文 大和田 剛	部分構造化法による位相最適化	茨城講演会論文集 p.161-162 (2008.9)	

機械システム工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
澁澤 健二 船津 賢人1) 白井 紘行1) 高草木 文雄1)	マイクロ波放電プラズマにおけるN ₂ 1+ バンドの放射特性	平成19年度宇宙航行の力学シンポジウム, (2007.12)	1)群馬大学
K.Shibusawa M.Funatsu 1) H.Shirai 1) F.Takakusagi1)	Nonequilibrium Vibrational Population Distribution in Microwave-discharged Nitrogen Plasma at Low Pressure	26th International Symposium on Space Technology and Science, Post-conference CD-ROM, 2008-e-28, pp.1-6,(2008.6)	1)Gunma University
澁澤 健二 船津 賢人1) 白井 紘行1) 高草木 文雄1)	窒素マイクロ波放電プラズマにおけるN ₂ 1+バンドの放射特性	第40回流体力学講演会／航空宇宙数値シ ミュレーション技術シンポジウム2008講演集, pp.209-212,(2008.6)	1)群馬大学

教員事績（平成19年10月～平成20年9月）

電子制御工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号（年、月）	備考
白土 勇輝1) 菊池 誠	手動-自動制御系間の状態遷移問題に関する研究	2008年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 p.741-742 (2008.3)	1)平成19年度専攻科1年生
箕輪 侑輔1) 菊池 誠	超音波を利用する非触式杖に関する研究 -室内部材における超音波反射特性の測定-	2008年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 p.743-744 (2008.3)	1)平成19年度専攻科1年生
菊池 誠	腱紡錘反射と伸張反射を考慮した1自由度指把握系のモデリング	日本機械学会論文集(C編)74巻738号 p.395-399 (2008.2)	
宝角 敬一 藤長 茂樹1)	単純作業での技能レベル(熟練度)と作業形態による最適生産スケジューリングの研究(第1報)	2008年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 p.894 (2008.9)	1)新明和工業(株)
山田 雅也1) 宝角 敬一	6脚歩行ロボットの歩容安定性研究	2008年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集 p.614 (2008.9)	1)平成19年度専攻科1年生
長谷川 勇治 井川 裕太 1) 伊藤 伸英 2) 大森 整 3) 加藤 照子 3) 根本 昭彦 4)	陽極酸化を援用したELID 研削 -第3報:繰り返し圧延法による砥石開発-	2007年度日本機械学会関東支部山梨講演会講演論文集208 p.58-59 (2007.10)	1)平成19年度本科5年生 2)茨城大学 3)理化学研究所 4)日本工業大学
Y.Hasegawa N.Itoh 1) G.Itoh 1) H.Ohmori 2) T.Kato 2) N.Nemoto 3) T.Matsuzawa4) H.Mizoguchi 5)	Effect of ELID Grinding on Conductive Rubber-Bond Wheel	The 4rd International Conference on Leading Edge Manufacturing in 21st Century (LEM21) 513 p.561-566 (2007.11)	1)茨城大学 2)理化学研究所 3)日本工業大学 4)池上金型工業(株) 5)大和化成工業(株)
増田 和弘 1) 伊藤 伸英 1) 伊藤 吾朗 1) 根本 昭彦 2) 加藤 照子 3) 大森 整 3) 長谷川 勇治	ピオトープ型ELID研削技術の開発 -第3報 加工特性の調査-	2008年度精密工学会春季大会学術講演会論文集C37 p.215-216 (2008.3)	1)茨城大学 2)日本工業大学 3)理化学研究所
小野田 昌功1) 長谷川 勇治 伊藤 伸英 2) 大森 整 3) 加藤 照子 3) 根本 昭彦 4)	導電性樹脂砥石の開発	2008年度精密工学会春季大会学術講演会論文集C38 p.217-218 (2008.3)	1)平成19年度本科5年生 2)茨城大学 3)理化学研究所 4)日本工業大学
塚越 広光 1) 伊藤 伸英 1) 伊藤 吾朗 1) 根本 昭彦 2) 加藤 照子 3) 大森 整 3) 松澤 隆 4) 溝口 浩志 5) 長谷川 勇治	導電性ラバーボンド砥石によるELID研削加工特性 -第5報 電解ドレッシングによる砥石表面性状変化と加工特性調査-	2008年度精密工学会春季大会学術講演会論文集C39 p.219-220 (2008.3)	1)理化学研究所 2)茨城大学 3)日本工業大学
加藤 照子 1) 大森 整 1) 伊藤 伸英 2) 塚越 広光 2) 増田 和弘 2) 長谷川 勇治 根本 昭彦 3)	バイオマス由来の砥石開発プロセスにおけるトライボファブリケーション	2008年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集F15 (2008.9)	1)茨城大学 2)日本工業大学 3)理化学研究所 4)池上金型工業(株) 5)大和化成工業(株)

電子制御工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
塚越 広光 1) 伊藤 伸英 1) 伊藤 吾朗 1) 根本 昭彦 2) 加藤 照子 3) 大森 整 3) 松澤 隆 4) 溝口 浩志 5) 長谷川 勇治	導電性ラバーボンド砥石によるELID研削加工特性－第6報 電解ドレッシングが加工面に及ぼす影響－	2008年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集F16 (2008.9)	1)理化学研究所 2)茨城大学 3)日本工業大学
飛田 敏光 滑川 英世 長洲 雅彦1)	社会人初心者向け組込み技術教育カリキュラムの開発	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表会講演予稿集PB22 (2007.12)	1)有アンサリードシステム
千葉 誠哉1) 詫摩 祐也1) 荒川 臣司	振幅スペクトル差分を用いた画像欠陥検出法の性能に関する検討	電子情報通信学会東京支部学生会研究発表会(第13回)講演論文集 p.177 (2008.3)	1)平成19年度電子制御工学科卒業生
大崎 裕司 1) 岡本 修 三浦 光通 2) 高橋 徹 2) 広瀬 篤 3) 朝野 芳一郎4)	土壌汚染状況調査における調査地点測量システムの開発(第2報) －実用精度の評価－	日本航海学会GPS/GNSSシンポジウム2007テキストビギナーズセッション p.289 (2007.11)	1)本科5年生 2)環境研究センター 3)デジメイト 4)フリーネット
岡本 修 三浦 光通 1) 高橋 徹 1) 広瀬 篤 2) 朝野 芳一郎3)	土壌汚染調査における調査地点設定に係わる測量の省力化(第3報)－評価と改良－	土壌環境センター他共催第14回地下水、土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集 p.637-640 (2008.6)	1)環境研究センター 2)デジメイト 3)フリーネット
高橋 徹 1) 今野 淳 1) 岡本 修 窪田 洋司 2) 佐藤 藤男 3) 橋本 久儀 3)	VOCsによる土壌・地下水汚染現場における調査および対策手法の省力化事例	土壌環境センター他共催第14回地下水、土壌汚染とその防止対策に関する研究集会講演集 p.305-308 (2008.6)	1)環境研究センター 2)東京ソイルリサーチつくば総合試験所 3)日立建機
岡本 修 柴田 裕一 押久保 武 鬼澤 文生1)	過熱水蒸気によって加熱されたさつま芋の熱物性に関する研究	日本伝熱学会第45回日本伝熱シンポジウム講演論文集vol.2008 p.411-412 (2008.5)	1)幸田商店
鈴木 学 1) 住谷 正夫 小口 喜美夫2)	歩行姿勢変化に伴うゆらぎ変化の解析	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表会講演予稿集A06 (2007.12)	1)平成19年度専攻科修了生 2)成蹊大学
岡本 芳三1) 住谷 正夫	歩行する人体の運動と動的揺らぎ特性	可視化情報学会・第36回可視化情報シンポジウムC113 p137-138 (2008.7)	1)なし

教員事績（平成19年10月～平成20年9月）

電気電子システム工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号（年、月）	備考
田辺 隆也 畠山 巖	ホログラムメモリの記録補償方法および装置	特許出願2007-274596 (2007.10)	
T. Tanabe I. Hatakeyama	A write compensation method for holographic data storage	IWHM2007,26p18 (2007.10)	
A. Utsumi 1) T. Tanabe M. Fukuda 1)	Optical Near-Field Generator and Detector Fabricated from Random-Metal	IWHM2007,26p09 (2007.10)	1)豊橋技術科学大学
藤岡 祐二1) 田辺 隆也 畠山 巖	低コヒーレントLDを用いたデジタルホログラフィ	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表会PA25 (2007.12)	1)専攻科1年
林 久生1) ヌルピルダウス2) 田辺 隆也	FPGAを用いた光ディスクのPID制御	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表会PB10 (2007.12)	1)専攻科1年 2)平成18年度電気工学科卒業生
佐瀬 徹矢1) 田辺 隆也	温度が光ディスクの記録再生に与える影響測定	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表会PB23 (2007.12)	1)専攻科1年
田辺 隆也 及川 和城1) 田村 俊輔1) 福田 光男2)	植物栽培用LEDのフィードバック制御法の一検討	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表会PB24 (2007.12)	1)専攻科1年 2)豊橋技術科学大学
田辺 隆也 海野 一樹1) 桜井 浩貴2)	画像処理を用いたロボットの移動制御の検討	2008高エネ研メカワークショップMW08-P12 (2008.4)	1)平成19年度電気工学科卒業生 2)平成17年度電気工学科卒業生
M. Fukuda1) A. Utsumi1) H. Funato1) M. Tohyama1) N. Takemoto1) S. Yamamoto1) Y. Yamasaki1) T. Tanabe	Performance of Random Metal-Dielectric Film on Optical Signal Transmissions	IEEE Photonics Technology Letters, 20, 8 pp.590-592 (2008.4)	1)豊橋技術科学大学
T. Tanabe R. Suzuki1) I. Hatakeyama	Filter structures of write compensation for holographic data storage systems	ISOM/ODS'08 TD05-104 (2008.7)	1)平成19年度電気工学科卒業生
H. Hayashi1) T. Sase1) T. Tanabe	Optical high-spatial resolution using super-RENS disk system	ISOM/ODS'08 TD05-165 (2008.7)	1)専攻科2年
佐瀬 徹矢1) 林 久生1) 田辺 隆也	Super-RENS媒体の記録補償に関する研究	第69回応用物理学会学術講演会3a-ZD-4 (2008.9)	1)専攻科2年
林 久生1) 佐瀬 徹矢1) 田辺 隆也	Super-RENS媒体の高周波パルス再生に関する研究	第69回応用物理学会学術講演会3a-ZD-5 (2008.9)	1)専攻科2年
大山 祥吾1) 中山 尚之1) Islam Farzana2) 内海 淳志3) 田辺 隆也	光ファイバを用いた植物内部の屈折率の検出と水分量の推定	日本生物環境工学会 2008年松山大会 P44 (2008.9)	1)豊橋技術科学大学 2)東京大学 3)舞鶴高専

電気電子システム工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
田中 大輔 ¹⁾ 若松 孝	水晶振動子発振法によるフタロシアニン 薄膜の膜厚評価	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表 会講演予稿集,A11 (2007.12)	1)平成19年度専攻科修 了生
田中 大輔 ¹⁾ 若松 孝	水晶振動子発振法による有機薄膜の質 量密度評価	第13回電子情報通信学会東京支部学生会研 究発表会講演論文集,C-13,p115 (2008.3)	1)平成19年度専攻科修 了生
若松 孝	金属増強エバネッセント光による微小共 振器とその特性	平成20年度電気関係学会東北支部連合大会 講演論文集,2E01,p170 (2008.8)	
金成 守康 ¹⁾ 国本 充 ²⁾ 若松 孝	低分子有機薄膜の力学的特性と曲げ 強度予測	第69回応用物理学会学術講演会講演予稿 集,5a-P15-15,p1112 (2008.9)	1)電子制御工学科 2)専攻科2年
若松 孝 金成 守康 ¹⁾	金属増強エバネッセント光による微小変 位検出	平成20年度電子情報通信学会信越支部大 会,P-1 ,p194(2008.9)	1)電子制御工学科
青木 克仁 ¹⁾ 若松 孝	エバネッセント光のFDTD解析	平成20年度電子情報通信学会信越支部大 会,P-2 ,p195 (2008.9)	1)専攻科1年
菊地 美幸 ¹⁾ 関口 直俊	熱電素子を用いた太陽電池複合セルの 変換効率	平成19年度電気学会東京支所茨城支所研究 発表会講演予稿集, C04 (2007.12)	1)平成19年度情報・電 気電子工学専攻
釜我 昌武 成 慶珉 大橋 弘通	変換器高周波化のためのSi-IGBTと SiC-SBDの検討	電機学会論文集D, 128, 5, pp.569-576 (2008.5)	
M. Kamaga Y. Sato K. Sung Y. Hayashi H. Ohashi	An Investigation of Gate Drive Circuits and Losses in Power Devices of Multilevel Converters for Circuit Integration to Realize High Output Power Density	5th International Conference on Integra-tion Power Electronics Systems(CIPS), March 11- 12 (2008)	
T. Kinjo K. Takao Y. Tanaka K. Sung T. Ogura H. Ohashi	Exact Power Loss Estimation Method for High Voltage Power Converters with 5kV SiC-PiN Diode	23th IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), T34-4, pp. 1247-1251, February 24-28 (2008)	
丸山 智章 林 豊彦 ¹⁾ 加藤 一誠 ²⁾	歯科CADにおける歯牙滑走運動シミュ レータの自動設定	MEとバイオサイバネティックス研究会, 信学技 報, 108(52), pp.39-44 (2008.5)	1) 新潟大学工学部 2) 日本補綴歯科学会

教員事績（平成19年10月～平成20年9月）

電子情報工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号（年、月）	備考
藤岡 祐二) 畠山 巖	低コヒーレントLDを用いたデジタルホログラフィ	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表 会講演予稿集PA25 (2007.12)	1) 平成19年度専攻科1 年生
磯前 厚) 畠山 巖	フォトポリマーアシストデジタルホログラ フィの検討	第15回電気学会東京支部茨城支所研究発表 会講演予稿集PA26 (2007.12)	1) 平成19年度電子情 報工学科卒業生
小嶋 隆太) 小飼 敬 村田 和英	ケアブランにおけるアセスメント支援 ツールの開発	情報処理学会 第70回全国大会, 2ZF-6, pp.4-583 - 4-584 (2008.3)	1)平成19年度専攻科1 年生
越田 弘樹) 小飼 敬 滝沢 陽三	ウェブクリッピングによる情報収集を支 援するアプリケーションの開発	情報処理学会 第70回全国大会, 5R-2, pp.1- 531 - 1-532 (2008.3)	1)平成19年度専攻科1 年生
寺中 慎介) 村上 祥平) 小飼 敬 上田 賀一)	形式手法 Alloy を用いた図式モデルの ための段階的検証方法	情報処理学会研究報告 ソフトウェア工学, Vol.2008, No.29, pp.187-194 (2008.3)	1) 茨城大学
小飼 敬 寺中 慎介) 村上 祥平) 上田 賀一)	MDA のメタ階層における Alloy を用い た記述方法の提案	ソフトウェアエンジニアリング最前線2008, 近 代科学社, pp.187-188 (2008.8) 情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシ ンポジウム2008にてポスターセッション	1)株式会社 日立アドバ ンストデジタル 2)茨城大学
K. Yayoi A. Baryshev 1) A. Khanikaev1) H. Uchida 1) M. Inoue 1)	Fabrication of Two-dimensional Magnetophotonic Crystals by using Porous Alumina as a Template	International Workshop on Nano-structured Materials & Magnetism 2008, P-14 (2008.2)	1)豊橋技術科学大学

教員事績 (平成19年10月～平成20年9月)

物質工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号 (年、月)	備考
瀬谷 洋平1) 砂金 孝志	多孔質TiO ₂ 薄膜の作製とその応用	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.42 (2007.11)	1)平成19年度専攻科修了生
大高 佑介1) 砂金 孝志	TiO ₂ 光触媒コート金属板の性質(2)	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.44 (2007.11)	1)平成19年度専攻科修了生
谷口 昭三 黒沢 一樹1)	効率的な水蒸気蒸留器の開発と学生実験での実践	平成20年度高専教育講演論文集, p.51-54 (2008.8)	1)平成19年度専攻科修了生
谷口 昭三 黒沢 一樹1)	環境に配慮した水蒸気蒸留器の開発と学生実験での実践	日本化学会第88回春季年会講演予稿集 I, p.661 (2008.3)	1)平成19年度専攻科修了生
黒沢 一樹1) 谷口 昭三	水蒸気蒸留器の改良と実験・実習への展開	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.76 (2007.11)	1)平成19年度専攻科修了生
千葉 洋祐 鈴木 宏幸 竿留 啓朗 望月 日臣 小松崎 秀人 引地 史郎1)	トリスピラゾリルボレート配位子を有するマンガン(II)チオアセトおよびチオラト錯体の酸素活性化	日本化学会第88回春季年会講演予稿集, 4PA-087 (2008.3)	1)神奈川大学工学部
貴志 礼文 小松崎 哲 濱方 大伸 小松崎 秀人 引地 史郎1)	トリスピラゾリルボレート配位子を有するコバルト(II)チオラト錯体の合成と反応性	日本化学会第88回春季年会講演予稿集, 4PA-088 (2008.3)	1)神奈川大学工学部
三木 奈保美 塩田 明彦 小松崎 秀人 佐藤 稔 引地 史郎1)	トリスピラゾリルボレート配位子を有するマンガン(II)セミキノナト錯体の合成と反応性	日本化学会第88回春季年会講演予稿集, 4PA-089 (2008.3)	1)神奈川大学工学部
貴志 礼文 善村 昌未 小松崎 哲 高瀬 憲幸 松崎 翔 豊島 恵介 小松崎 秀人 蝦名 不二夫 梶田 宗隆1) 引地 史郎2)	トリスピラゾリルボレートを配位子とするニッケル(II)チオラト錯体の系統的合成と反応性	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.45 (2007. 11)	1)東工大資源研 2)神奈川大学工学部
三木 奈保美 塩田 明彦 深谷 佐久子 小松崎 秀人 佐藤 稔 梶田 宗隆1) 稲垣 昭子1) 引地 史郎2)	トリスピラゾリルボレートを配位子とするマンガン(II)セミキノナト錯体の合成と酸素分子との反応	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.47 (2007. 11)	1)東工大資源研 2)神奈川大学工学部
千葉 洋祐 雨澤 真理 鈴木 宏幸 竿留 啓朗 望月 日臣 齋藤 知佳 小松崎 秀人 佐藤 稔 梶田 宗隆1) 諸岡 良彦1) 引地 史郎2)	硫黄性配位子を有するマンガン(II)錯体の合成と酸素活性化反応	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.43 (2007. 11)	1)東工大資源研 2)神奈川大学工学部

物質工学科

氏名	論文・著書名	発表機関・出版社等 巻、号(年、月)	備考
高瀬 憲幸 佐藤 稔 宮下 美晴 小松崎 秀人 引地 史郎1) 穂田 宗隆2)	金属-カテコール付加錯体/高分子ハイブリットフィルムの酸素分子との反応性	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.59 (2007. 11)	1)神奈川大学工学部 2)東工大資源研
佐藤 稔 小室 博1)	トーナメント表作成支援ソフトの開発(2)	茨城工業高等専門学校 研究彙報、43、p93 (2008.3)	1) 下館二高
蝦名 不二夫 小玉 理恵1) 菊地 彩子1) 坂本 香織1) 立原 花子1)	マイクロ波反応による有機合成(3) テトラフェニルポルフィリンのフラスコ反応とマイクロ波反応の比較	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.30 (2007. 11)	1)平成19年度卒業生
R. Kusumi1) Y. Inoue2) M. Shirakawa2) Y. Miyashita Y. Nishio1)	Cellulose alkyl ester/poly(ϵ -caprolactone) blends: characterization of miscibility and crystallization behavior	Cellulose, Vol.15, pp.1-16 (2008)	1) Kyoto University 2) Tokyo University of Agriculture and Technology
佐藤 夏美1) 宮下 美晴	セルロースエステル-ポリ乳酸系グラフト共重合体の合成と特性評価	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.61 (2007. 11)	1)平成19年度専攻科修了生
宇津野 彰浩1) 宮下 美晴	アルギン酸/合成ポリマー系ブレンドの相溶性	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.63 (2007. 11)	1)平成19年度専攻科1年生
小堀 菜々1) 鈴木 康司	<i>Pseudomonas putida</i> KT2440株由来リパーゼ関連遺伝子のクローニング	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.65 (2007. 11)	1)平成19年度専攻科修了生
坂本 幸平1) 鈴木 康司	<i>Pseudomonas putida</i> 由来 <i>armX</i> 遺伝子のクローニング	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.67 (2007. 11)	1)平成19年度専攻科1年生
山形 信嗣 小林 奈保子1) 小野 幸太2)	エタノールとメタノールまたはジメチルエーテルからのプロピレン合成について	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.40 (2007. 11)	1)平成18年度卒業生 2)平成19年度卒業生
山形 信嗣 萩野谷 和大1) 川上 優 2) 永峯 弘規2) 名越 敏昭2)	エタノール-ブタノール系からのプロピレン生成	第102回触媒討論会(名古屋)、P041(2008. 9)	1)平成19年度卒業生 2)平成20年度5年生
L.A. Guzman K. Hosoya 1) K. Tanifuji 2)	Growth rate hysteresis of a potassium dihydrogen phosphate crystal induced by Al (III) ions	The 4th Joint China/Japan Chemical Engineering Symposium (CJCES) (2007. 12)	1)平成19年度卒業生 2)平成18年度卒業生
斎藤 夕季1) 斎藤 保夫 江橋 達也2)	超臨界流体下でのボロン酸化物の新規触媒的還元を試み	第18回日本化学会関東支部茨城地区研究交流会予稿集, p.70 (2007. 11)	1)平成19年度卒業生 2)平成19年度専攻科修了生
斎藤 保夫	ホウ素酸化物の新規還元法	特願2008-65181 (2008.3)	民間会社(2社)と共同出願

専攻科特別研究題目一覧表(平成19年度)

特別研究題目	学生名	指導教員
機械・電子制御工学専攻		
水晶振動子バイオセンサによる環境汚染物質の検出装置の開発研究	秋山太佑	根本栄治
赤外線応力測定法の応用に関する研究	阿部智志	押久保武
大気圧マイクロプラズマのプロセス化に関する研究	牛久保佑介	根本栄治
フラクタル理論に基づいた太陽電池の開発研究	鈴木一生	根本栄治
自動車用超ハイテン材引張時に生じる磁気特性に関する研究	鈴木貴宏	押久保武
歩行姿勢のゆらぎ変化の解析	鈴木学	住谷正夫
赤外線カメラ温度プロファイリング法による二次元異方性物質の主軸熱物性測定	高橋飛鳥	根本栄治
聴覚と操作感を用いた空間認識過程の基礎研究	滝田智行	菊池誠
初析セメント・層状セメントに及ぼす熱処理温度の影響に関する基礎研究ーセメントを利用したマイクロデバイスについてー	古川翔司	谷山久法
GPSロボットカーの開発	綿引伸吾	菊池誠
		岡本修
情報・電気電子工学専攻		
弱視ユーザ支援を目的とした拡大ツールの開発	飯沼達夫	滝沢陽三
教育向けUML記述支援ツールの開発	大脇佑平	弘畑和秀
		小飼敬
逆ミセル法の作製条件が半導体ナノ微粒子の物性に及ぼす影響に関する研究	金子真之	森龍男
熱電素子を用いた太陽電池モジュールの出力評価	菊地美幸	関口直俊
水晶振動子発振法によるフタロシアニン薄膜の質量密度評価	田中大輔	若松孝
携帯電話の電子メールを用いた、データベース操作システムの開発	額賀啓行	四王天正臣
物質工学専攻		
Pd-ZnO/CeO ₂ 触媒上でのメタノール水蒸気改質反応速度と表面反応機構	江橋達也	山形信嗣
		斎藤保夫
TiO ₂ 光触媒コート金属板の性質	大高佑介	砂金孝志
3, 4-ジメチルピロールの新規合成法の開拓	國井敬一	蝦名不二夫
水蒸気蒸留器の改良と実験・実習への応用	黒沢一樹	谷口昭三
<i>P. putida</i> KT2440株由来リパーゼ遺伝子のクローニングと発現	小堀菜々	鈴木康司
セルロースアセテート-ポリ乳酸系グラフト共重合体の合成と特性評価	佐藤夏美	宮下美晴
超臨界水を用いたグルコースの触媒的スチームリフォーミングの試み	佐藤正浩	砂金孝志
		斎藤保夫
多孔質TiO ₂ 光触媒薄膜の作製とその応用	瀬谷洋平	砂金孝志
金属-カテコール付加錯体/高分子ハイブリッドフィルムの酸素分子との反応性	高瀬憲幸	佐藤稔
硫黄性配位子を有するマンガン(II)錯体の合成と酸素活性化反応	千葉洋祐	小松崎秀人
トリスピラゾリルボレート配位子を有するマンガン(II)セミキノナト錯体の合成と反応性	三木奈保美	小松崎秀人
過酸化物のポルフィリンへの新規付加反応の解明	山崎哲享	蝦名不二夫

卒業研究題目一覧表(平成19年度)

機械工学科

卒業研究題目	学生名	指導教員
有限要素法による位相構造の力学的検討と数値解析	大内 亮太	小室 孝文
	渡辺 一弘	
FEMによる三次元位相最適化のための基礎研究	栗田 雅史	小室 孝文
燃料電池の触媒分布最適化による発電効率向上に関する研究	山下 恭平	根本 栄治
集積型多点温度プローブ法による二次元異方性材料の主軸熱伝導率および主軸角測定	郡司 高宏	根本 栄治
太陽電池を利用したフラクタル図形の光変換に関する研究	額賀 晴樹	根本 栄治
レーザーブレイクダウンを用いた機能性材料に関する研究	金澤 雄史	加藤 文武
	鳴原 啓太	
三次元画像構築のためのシステム開発	松坂 効	加藤 文武
ガス検知用光センサの開発研究	小松 裕治	加藤 文武
フーリエフィルタを用いたデジタル粒子ホログラムの精度向上	園部 亜由美	池田 耕
デジタル粒子ホログラムの精度向上のための単眼多方向光学系の検討	森 健	池田 耕
教育用粒子画像流速測定法のためのLED光源の検討	小山内 佳佑	池田 耕
鋼の結晶粒界に及ぼす熱処理温度の影響	弘田 勇氣	谷山 久法
	涌井 遼平	
ステンレスの高温腐食	平松 尚樹	谷山 久法
鋼の三相焼入れ	佐藤 瑞樹	谷山 久法
高圧下および減圧下における定常拡散火炎バーナーの実験装置の試作	佐藤 章宏	小堀 繁治
平面火炎を用いたカーボンナノ物質の燃焼合成	須藤 克文	小堀 繁治
低温度差で駆動する模型エンジンの設計製作	石井 直樹	小堀 繁治
高応答性ガス温度センサの検定装置の設計製作開発	中庭 大輔	小堀 繁治
マルテンサイト変態評価のための磁気センサに関する基礎的研究	郡司 光	富永 学
フェライトスコープによるマルテンサイト変態誘起塑性の評価	長堀 高洋	富永 学
X線回折によるマルテンサイトの定量分析	南條 裕貴	富永 学
3D-CADによるモデリング	作山 正義	富永 学
赤外線応力測定法に関する研究	坂井 優一	押久保 武
	鈴木 純	
温度観測による疲労寿命の評価	ハフィザ	押久保 武
地域における農作業効率化のための機器開発	相田 勇氣	押久保 武
メッシュワークモデルの相転移	関口 伸夫	鯉 洵 弘 資
面内変形エネルギーを考慮した膜モデルの相転移	和田 雅哉	鯉 洵 弘 資
細長いドーナツ状膜の相転移	飯村 拓己	鯉 洵 弘 資
	中村 佑樹	
マイクロ液滴の接触に関する研究	箭内 健彦	柴田 裕一
ヒートパイプの可視化実験	末政 秀一	柴田 裕一
氷蓄熱冷風機の開発	篠原 貴博	柴田 裕一
エアバブルクリーナの性能実験	石井 忍	柴田 裕一
親水性制御による流路内の流れ観測	須藤 琢哉	柴田 裕一

卒業研究題目一覧表(平成19年度)

電子制御工学科

卒業研究題目	学生名	指導教員
ネットワークを応用した移動体制御方式の検討	國井嘉仁	飛田敏光
	仲田朋史	
小型アクチュエータとその制御方式の検討	小林克朗	飛田敏光
振幅スペクトル差分を用いた画像欠陥検出法の性能評価	詫摩祐也	荒川臣司
	千葉誠哉	
ダイナミックPIVにおける時間平均法の提案	真家洋武	荒川臣司
PSPICEによる $\Delta\Sigma$ 型A/Dコンバータのシミュレーション	笹島康央	滑川英世
DSPを用いたオーディオ信号のスクランブリング	塙亮一	滑川英世
MATLABを用いた音声符号器の評価	根本和樹	滑川英世
D級アンプにおける負帰還設計	綿引孝充	滑川英世
クレーン問題におけるモデル誤差の解析	小松崎優	菊池誠
レーザ推進型ロケットにおける打上げ角度の最適化	須藤僚介	菊池誠
自動車の個別特性を重視した自然渋滞の解析	菅谷和幸	菊池誠
航空機の高度制御に関する研究	安嶋哲也	菊池誠
ベビーカーにおけるブレーキアシストシステムの開発	川又基木	平澤順治
	安達孝志	
移動体追従システムに関する研究	松下雄史	平澤順治
清掃ロボットの研究(4クローラ式清掃機構の開発)	長田雄一	平澤順治
変位制御型ナノインデンテーション試験機の開発	高野志帆	金成守康
	ランディ	金成守康
3軸自動ステージの制御プログラムの開発	斎藤千弘	金成守康
有機半導体薄膜の電気特性に及ぼす曲げひずみの影響に関する弾性理論解析	今里拓朗	金成守康
ELID研削用導電性樹脂砥石の開発	小野田昌功	長谷川勇治
繰返圧延法を用いたELID研削用AI砥石の加工特性	井川裕太	長谷川勇治
マイクロバブルを用いた効率的研削システムの構築	荒野康志	長谷川勇治
量産型管内探索ロボットの開発	石川達希	長谷川勇治
産業用ロボットのエンドエフェクタの開発	大場昂	宝角敬一
6脚歩行ロボットの歩容解析—その2—	加藤義隆	宝角敬一
	田山宗徳	
ロボットハンド装具交換機構の開発	池田悠哉	宝角敬一
航空機部品加工における作業スケジューリングの研究	泉原佳典	宝角敬一
土壌汚染状況調査における調査地点測量システムの開発	大崎裕司	岡本修
納豆残渣利用におけるパック開け機の開発	鬼澤真人	岡本修
プレキャストコンクリートの表面画像解析	川崎健史	岡本修
干し芋皮むき機の開発	五十嵐立騎	岡本修
宅地向け高速測量システムの開発	谷中佑多	岡本修
意識集中における脳波変化の抽出	原拓未	住谷正夫
歩行姿勢変化に伴うゆらぎ変化の解析	平山卓	住谷正夫
各種ゆらぎの作成方法の研究	山田篤	住谷正夫
ウェーブレット解析方法の研究	宮田浩明	住谷正夫
ゆらぎ画像の作成	夏目樹一	住谷正夫
画像から音楽の作成	石橋淳	住谷正夫

卒業研究題目一覧表(平成19年度)

電気工学科

卒業研究題目	学生名	指導教員
太陽光スペクトル及び風速を考慮した太陽電池アレイ出力特性2	砂川 祐人	関口 直俊
	戸頃 剛	
太陽水素エネルギーシステムのシステム評価2	岡野 翔太	関口 直俊
	増子 淳一	
触媒量の変化による固体高分子型燃料電池の出力評価	菊地 佑輔	関口 直俊
	田山 裕一	
1200V耐圧IGBTの直列接続におけるスイッチング特性の研究	氏家 和輝	成 慶 珉
インバータにおける制御と導入効果の検討	金内 崇	成 慶 珉
	佐々木 宏基	
電力貯蔵システムにおける双方向電流-直流コンバータの研究	大矢 明日香	成 慶 珉
電力貯蔵による風力発電電力の変動抑制に関する研究	石川 貴祥	成 慶 珉
	宮本 卓也	
電線着雪防止用LC線材の実線路適用を模擬した特性試験	菊池 祐	長野 眞康
	高橋 亮太	
Fe-Si系薄膜の作製と近赤外発光特性	逆井 亨允	原 嘉 昭
FDTD法による光伝搬シミュレーション	青木 克仁	若松 孝
全反射臨界角法によるタンパク質溶液の屈折率測定	林 明宏	若松 孝
低周波振動のレーザ計測2	田中 春輝	若松 孝
改良型ナップザック暗号の平面を用いた拡張についての研究	佐々木 優	安細 勉
	豊田 泰之	
巡回セールスマン問題のデジタル署名への応用	金澤 優	安細 勉
床関数を用いた素因数分解法	新山 伊幸久	安細 勉
総合学習の支援を目的とした町探検システムの開発	岩田 直也	吉成 偉久
	道野 慎佑	
ネットワークを用いたロボットの移動制御システムの研究	海野 一樹	田辺 隆也
植物の状態検出に向けた近赤外分光による成分分析	作山 幸恵	田辺 隆也
デジタルホログラム用記録補償の記録品質解析	鈴木 隆	田辺 隆也
物理的直線テーパ線路の周波数応答の計算	菊田 義之	遠藤 勲
DSPを用いた変調回路の研究	清水 淳史	遠藤 勲
	関根 和也	

卒業研究題目一覧表(平成19年度)

電子情報工学科

卒業研究題目	学生名	指導教員
フォトポリマーアシストデジタルホログラフィの研究	磯前 厚	畠山 巖
光学的暗号情報に対する復号条件の影響	影山 浩之	畠山 巖
石垣構築競技のための最適推定手法の検討	小川 仁	杉村 康
	大古田 徹	
	トウフシン	
等角写像を併用した大地帰路送電線の伝搬特性解析	鶴町 崇	柴田 尚志
分散処理型データ収集システムの開発	枝 隼也	村田 和英
	佐藤 雅敏	
歌声の音階解析に関する検討	市毛 貴博	市毛 勝正
	大貫 公士	
視覚センサに基づくマンマシンインターフェースに関する研究	池田 雅也	市毛 勝正
DSPを用いた信号処理実験に関する検討	三浦 貴志	市毛 勝正
	吉田 寿史	
ヘルムホルツコイルを用いた磁界制御	八島 亮平	山口 一弘
Co添加TiO ₂ 薄膜の作製とその物性に関する研究	島田 和明	山口 一弘
数独解を求めるソフトウェアに関する研究	上野 利浩	弘畑 和秀
惑星軌道シミュレータに関する研究	大和田 創	弘畑 和秀
Javaを用いた関数電卓ソフトウェアの開発	鈴木 駿一	弘畑 和秀
料理支援ソフトの開発	高橋 舟平	弘畑 和秀
MML楽譜化ソフトの開発	武田 和馬	弘畑 和秀
動画コンテンツへのインデキシングの簡素化（2/20発表に変更）	安西 孝仁	滝沢 陽三
SNSにおける動画公開・閲覧システムの構築	井上 賢治	滝沢 陽三
	後藤 悠	
Google SketchUpを用いた情報教育における三次元モデル学習支援	小沼 文乃	布施 雅彦
地域医療連携のための情報管理システムの開発	小沢 譲	布施 雅彦
ヴァーチャルツアーコンテンツにおける製作手法の分析および開発と評価	黒川 結衣	布施 雅彦
	武藤 靖幸	
文書作成支援Webアプリケーションの開発	藤澤 一博	弘畑 和秀
		小飼 敬
Blogを利用したオブジェクト指向協調開発環境の実現	江橋 大樹	滝沢 陽三
	中井川 峻	小飼 敬
UMLダイアグラムビューアの開発	菅谷 仁志	滝沢 陽三
		小飼 敬

卒業研究題目一覧表(平成19年度)

物質工学科

卒業研究題目	学生名	指導教員
ピリジルトリフェニルポルフィリンランタノイド錯体のコバルト(II)ポルフィリンへの配位とその磁氣的性質	男庭 一輝	佐藤 稔
トリフェニルホスフィンを軸配位子としてもつコバルト(II)ポルフィリンへの酸素付加反応	小澤 勇人	佐藤 稔
水耕栽培におけるサツマイモ茎部の最適生育条件	蛭田 麻依	佐藤 稔
亜鉛(II)錯体に配位したキトサンフィルム蛍光特性	田口 のり子	佐藤 稔
3,4-ジメチルピロールの新規合成法の開拓 ～ α -ハロゲンカルボニル化合物の基本反応の検討～	藤枝 司	蝦名 不二夫
過酸化水素を酸素源とするチトクロムP-450のモデル研究(4) ～マイクロ波反応による陽イオン性ポルフィリンの合成～	坂本 香織	蝦名 不二夫
陰イオン交換樹脂におけるイオン交換効率の可視化の試み	青木 智美	蝦名 不二夫
マイクロ波反応による有機合成(4) ～TPPならびにその誘導体の合成条件の検討～	菊地 彩子	蝦名 不二夫
ポルフィンの合成化学的研究(22) ～ポルフィン合成の新たな展開を目指して～	立原 花子	蝦名 不二夫
バナジウム(IV)ポルフィリン錯体の簡便な合成法の開発(3) ～各種ポルフィリンに対する簡便な合成法の確立～	滑川 真人	蝦名 不二夫
茨城県内の有用微生物の探索(1) ～阿字ヶ浦採取海水中の微生物単離と同定～	鈴木 徹平	鈴木 康司
茨城県内の有用微生物の探索(2) ～温泉生息の微生物単離と諸性質検討～	根本 健史	鈴木 康司
<i>Bacillus</i> 由来ジアホラーゼ遺伝子のクローニング(2)	スヌ ハディ	鈴木 康司
リン酸二水素カリウムの結晶成長速度における染料オレンジIの影響	鈴木 良介	グスマン ルイス
リン酸二水素カリウムの結晶成長における金属イオン濃度と過冷却度の関係	細谷 洪平	グスマン ルイス
リン酸二水素カリウム大型単結晶作製のための高速成長法の検討	佐藤 梨恵	グスマン ルイス
ZnO及びZrO ₂ ファイバーの製法研究	大山 美香	砂金 孝志
Ag-TiO ₂ フォトクロミズム材料の研究	武田 理恵	砂金 孝志
TiO ₂ 繊維の製法研究	黒澤 悟史	砂金 孝志
ZnOを使った色素増感太陽電池の研究(3)	武井 貴博	砂金 孝志
メタン酸化カップリングによるエチレン合成 ～タングステン酸バリウム担持触媒の触媒活性～	河原井 篤	山形 信嗣
エタノールとメタノールからのプロピレン合成(2) ～イオン交換A型ゼオライトの触媒活性～	小野 幸太	山形 信嗣
エタノールとブタノール系からのプロピレン合成とその触媒開発(1)	萩野谷 和大	山形 信嗣
化学気相輸送法による β -FeSi ₂ 単結晶育成条件の検討	須藤 達也	原 嘉昭
金属溶媒からの β -FeSi ₂ 単結晶成長の試み	押野 勇樹	原 嘉昭
キチンへのラクチドの開環グラフト化	小松崎 佑介	宮下 美晴
ポリ(3-ヒドロキシブチレート)/セルロースブチレート系ブレンドの相溶性	坂口 彩	宮下 美晴
Cholesteryl hydrogen isophthalateの合成と相転移挙動の評価	菅原 崇	宮下 美晴
コーラゲン/ポリ(2-ヒドロキシエチルメタクリレート)系ブレンドの特性評価	三角 香菜子	宮下 美晴
2,3-ジメチルポルフィリンの酸化反応の検討	砂押 和志	谷口 昭三
シリル化したピロールアルコール類の反応性	坂井 元気	谷口 昭三
物質工学実験室の作業環境評価(3)	中山 恵美	谷口 昭三
精油を用いたホルムアルデヒド除去作用について	小森 敏行	谷口 昭三

物質工学科

卒業研究題目	学生名	指導教員
食用蛸の内臓に関する有効利用(1) ～ 蛸肝臓のカドミウム含量 ～	北澤 敬介	富田 豊
機能性化粧品の研究開発(3) ～ 相乗効果水の化粧品への応用 ～	安部 慎一郎	富田 豊
磁気活性水の特性研究(8) ～ 相乗効果水の懸濁特性 ～	齋藤 洵也	富田 豊
吸着樹脂を用いたクロム(Ⅲ)イオンの濃縮について ～ 樹脂およびキレート剤による吸着率の比較検討～	岡崎 日路	須田 猛
土壌に含まれるクロムの定量分析(3) ～ 試料からの溶出法の比較(2)～	後藤 はるな	須田 猛
土壌に含まれる重金属イオンの定量 ～ 家庭用電子レンジでの土壌分解法の検討～	澤田 弥生	須田 猛
java scriptを用いた金属イオン定性分析学習ソフトの開発	先崎 道太郎	須田 猛
トリスピラゾリルボレート配位子とするコバルト(Ⅱ)ヒドロキソ錯体と3,4-ジヒドロキシ桂皮酸の反応	市塚 知宏	小松崎 秀人
カルシウムセスキノナト錯体の合成と反応性	竹本 史織	小松崎 秀人
トリスピラゾリルボレート配位子とするマンガン(Ⅱ)ヒドロキソ錯体とレゾルシノールの反応	小松崎 真吾	小松崎 秀人

平成 21 年 3 月 発行

編集・発行 茨城工業高等専門学校

〒312-8508 茨城県ひたちなか市中根 866
TEL. 029 (272) 5201

印刷所 いばらき印刷 (株)

CONTENTS

- 1 What Causes Inductive Skepticism?
— On Mellor's "*The Warrant of Induction*" Kazuyoshi KAMIYAMA (1)
- 2 A Study of Task-Based Language Teaching at a Technical College
— Designing Tasks Based on Learners' Needs — Rie SUGIURA (7)
- 3 The environmental measurements on a language study tour in Australia
..... Yasuhiro OKUYAMA, Akira MORIWAKI, Ryuji IIJIMA, and Ayaka METOKI (17)
- 4 Verification of learning effects on short study abroad programs at Ibaraki National
College of Technology Ken'ichi OTSUKA (23)
- 5 Optical properties of β -FeSi₂ single crystals grown by chemical vapor transport method
..... Yoshiaki HARA and Kanichiro NAKAOKA (31)
- 6 A study of general thermal conductivity model of temperature function on metallic and ceramic
superconductors Eiji NEMOTO (35)
- 7 Analyses of Evanescent Waves at Total Reflection using FDTD method
..... Katsuyoshi AOKI and Takashi WAKAMATSU (41)
- 8 Catalytic Reduction of boron oxide in SCF for recycling of hydrogen storage material
..... Yasuo SAITOH and Atsuhiko YOSHIKAZI (47)
- 9 The Characters in Jikkinsyo
— A Study on Categorizing Collections of Japanese Tales — Ruri HIRAMOTO (62)