

平成 23 年度 G-COE 年次報告会におけるグループ研究ポスター発表の様子
Poster Presentation of G-COE Student Group Research at the Annual Meeting.

目次 (Contents)

グローバル COE プログラム 学生グループ研究 特集 / Special Issue on Student Group Research	2
はじめに / Introduction	2
地球温暖化に関する食物の影響 / The Impact of Everyday Foods on Global Warming	4
バイオ技術の適用による CO ₂ 隔離 / Aqua-farming and Biomimetic CO ₂ Sequestration	6
グリーン大学 / Green University	9
集中型及び分散型の電力システムの開発計画の比較検討：中国とインドネシアに学ぶ / A Comparative Analysis of Electricity Expansion Planning through Centralized and Decentralized Systems: Lessons from China and Indonesia	12
原子力発電の規模縮小に伴う電気自動車の将来性 / Applicability of Electric Vehicle Usage with Less Nuclear Power Plants in Japan ~ Are EVs OK or not? ~	14
京都市における CO ₂ 排出削減にむけた交通量削減政策による新しい生活スタイルの提言 / Proposal of New Lifestyles to Implement Traffic Mitigation Strategies for CO ₂ Reduction in Kyoto City	17
日本におけるカーボンニュートラルバイオエネルギー開発の戦略 / Strategy for Development of Carbon-Neutral Biomass Energy in Japan	19
日本国内における紙文書の電気機器代替に伴う CO ₂ 排出削減と省エネルギー効果に関して / Energy Saving and CO ₂ Reduction by Replacing Paper with Electronic Documents in Japan	21

はじめに / introduction

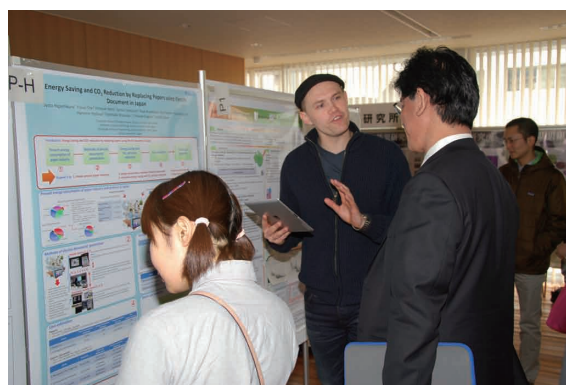
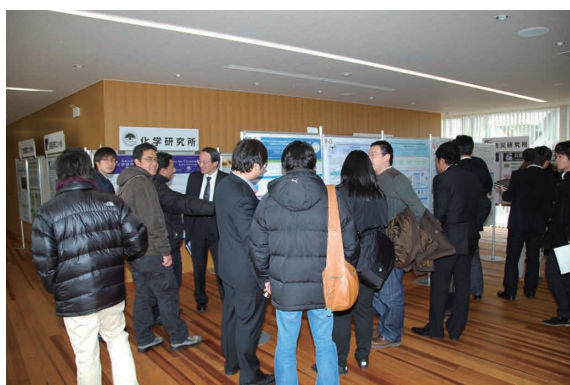
石原慶一 グループ研究責任者

Keiichi N. ISHIHARA, Professor in charge of Student Group Research

博士課程になると、なかなか自分の研究領域以外に興味をもつことが少なくなり、話をする相手も限られてくる。しかし、研究を遂行するにあたって、様々な知識や議論が時に非常に重要になることもあるし、社会に出ると自分の専門以外は知りませんというのは通用しない。さらに、これが最も重要なことであるが、博士課程の学生には文化の異なるところで育った人間とアカデミックに議論することや、共同作業で一つのものを作り上げる素養を身につけてもらいたい。それには、実際に経験することが最も大切である。そこで、本グローバル COE プログラムにおいて、登録学生に自主的にテーマを決めて研究する「国際エネルギーセミナー」を毎年行なっている。登録学生を出来るだけ国際的に、また同じ研究グループに偏らないように 8 グループ（1 グループ 8-9 名）に振り分け、各グループにはグローバル COE の特定助教、特定研究員をアドバイザーに指名して英語で定期的に議論を行い各人の専門を離れてゼロエミッションエネルギー社会について議論を深めるという問題解決型学習に取り組んでいる。これまで、各グループの研究成果を国際シンポジウムや成果発表会でポスター発表を行い、報告書を毎年提出してもらっている。本年 1 月の成果報告会においてせっかくの研究を学内外に公表してはどうかというご意見を諮問委員よりいただき、今回ニューズレターの特集号という形で、各グループに 1 ページの概要を作成してもらった。

このグループ研究で選ばれたテーマには様々なものがあるが、身近なところから選んでいることが多い。今回では、キャンパスライフ、食生活、交通インフラ、紙の消費などである。それから、留学生にはアジアの留学生が多いので、アジア地域のエネルギー問題を取り上げている。研究を進めるにあたって、思っていたデータが集まらない、実際に調べてみると想定していたのと違っていたなどいろいろとあるようだが、そういった体験を通じてエネルギー問題の困難さが実感できたであろう。学生の自分の研究の合間をぬい、またキャンパスが吉田と宇治にわかれていたので頻りに会合を行うことが困難であるが、この 4 年間には、グループ研究から国際誌に 1 編掲載され、国際会議に 1 編発表しているなど、優れた研究もなされている。必ずしも十分に議論された、あるいは調査されたとは言いがたい側面もあるが、結果よりもその過程で得たものを尊重したい。

最後に、本グループ研究のアドバイザーとして学生の指導にあたってくれた特定助教、研究員の皆様、本研究の原稿をまとめるにあたって、原稿チェックをしていただいた B.C.M. 教授、事務手続きなど一切引き受けてくれた平野さんに感謝の意を表す。



グループ研究のポスター発表によるディスカッション(平成23年度G-COE年次報告会)

Discussion on G-COE Student Group Researches by Poster Presentation at the Annual Meeting.

It is typically very difficult for PhD candidates to keep interest in various topics or to talk to people, in regards to anything other than their major. However, the diverse knowledge obtained through such activities is sometimes very precious in contributing to their studies, and when they finish their studies the knowledge is often required on various occasions. Furthermore, and perhaps most importantly, PhD candidates must have the skills to communicate, collaborate and discuss with academicians from different cultural and disciplinary backgrounds. Practice is the only way to acquire such knowledge and skills. In the Global COE, we are conducting the “International Energy Seminar” in which the registered students study topics of their own choosing. Generally, 8 groups (each 8-9 members) are formed

with consideration given to their nationality and their home department in order to obtain the maximum diversity. We also nominate a GCOE assistant professor or researcher as group advisor for each group. The groups discuss topics they have chosen (outside their own research topic) that fall under the banner of a zero-emissions society, following a “problem based learning” (PBL) strategy. So far, at the GCOE international symposium or other international symposia, they have taken the opportunity to present their research. Additionally, they have submitted a report on their study every year. In the advisory meeting held this January, it was suggested that we should published their results, which has given rise to the publication of this special issue.

Very different topics have been selected so far. Mostly, they have selected from areas closely related to their individual research or daily life. For example, in this issue: campus life, food selection, transport infrastructure, paper consumption (intra alia) are presented. Furthermore, issues associated with the Asian region are common, since the groups are composed of Japanese students and international students who are mainly from Asian countries. During their study, they must have encountered numerous difficulties such as being unable to find the appropriate data, or the real world being significantly different from their assumptions. However, they must ultimately have realized how deep and difficult energy problems are through their group study. It must have been quite difficult even to arrange their group meetings since they have their own research to undertake simultaneously and are spread across two different campuses, Yoshida and Uji. Despite this, some groups produced very good work, with one paper appearing in an international journal and one in an international conference. The results of their studies may not all be of the highest academic research quality, but it is important to appreciate the benefits of the process, not just the outcomes.

Finally, I would like to acknowledge the GCOE assistant professors and researchers for guiding the students' research, Ms. Hirano for taking care of the administrative procedures and Prof. B. C. M. for helping review the articles.



平成23年度G-COE年次報告会ポスター賞受賞者
Winners of Best Poster Awards at the G-COE Annual Meeting FY2011.

地球温暖化に関する食物の影響 / The Impact of Everyday Foods on Global Warming

藤井孝明^a (日本), ロズナ アブドゥラ^b (ブルネイ), 孫昊旻^a (中国), 宮城和音^b (日本), 小玉諒太^b (日本), アハマド アリ^b (パキスタン), 河音憲^b (日本), 崔龍雲^b (韓国), 金度亨^b (韓国), 芝大輔^b (日本), 園部太郎^b (日本), Takaaki FUJII^a (Japan), Rosnah ABDULLAH^b (Brunei), Hao Min SUN^a (China), Kazune MIYAGI^b (Japan), Ryota KODAMA^b (Japan), Ahamad ALI^b (Pakistan), Ken KAWAOTO^b (Japan), CHOI Yong Woon^b (Korea), KIM Do Hyoung^b (Korea), Daisuke SHIBA^b (Japan) and Taro SONOBE^b (Japan)
^a 大学院工学研究科原子核工学専攻 / Department of Nuclear Engineering
^b 大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science

本研究では日常摂取する食物からの温室効果ガス (GHG ガス) に着目し (図 1)、日々の食生活から排出される量を見積もり、食習慣を変えることによる GHG ガスの削減効果について検討した。研究では一般人及びベジタリアンの食事献立を対象として GHG 排出量の評価を行った。一般人の食事献立についてはアンケート用紙を作製し、学内の学生から食事内容に関するデータを取得した (図 2)。ベジタリアンについては、学内では数が少なく十分なデータが得られなかったため、国際ベジタリアン団体が推奨する食事献立 [1] を使用した。評価は各食物における質量当たりの CO₂ 換算排出量 (g-CO₂/g) [2][3] と摂取した質量 (g) との積により算出し、それらを合計することで一人一日当たりの摂取食物からの CO₂ 平均排出量 (g-CO₂/day/person) を計算した (図 3)。また、その評価結果を他の二酸化炭素排出源と比較するために、自動車の走行距離当たりの二酸化炭素排出量 (CO₂-g/m) のデータ [4] を用いてその排出量について検討を行った。

菜食中心の食生活は環境のみならず健康に良いことは容易に考えられる。しかし、食習慣を実際に変えることは容易ではない。そこで本研究では、食事選択の意思変化がもたらす二酸化炭素削減効果を見積もるための手法についても検討した。今回は、国の政策や事業計画などで用いられている意思決定手法 (階層分析法: AHP[5]) を用いて、食事選択の変化から二酸化炭素削減量を評価する手法を提案した (図 4)。

結果として、一般人では 5.13 [kg-CO₂/day/person] (野菜: 29%, その他: 71%)、ベジタリアンでは 4.34 [kg-CO₂/day/person] の CO₂ を日々摂取する食物から排出していることが分かった。これらの排出量は自動車において前者で 28 [km]、後者で 24 [km] 走行時に発生する二酸化炭素と等価であることが分かった。さらに AHP に関しては「環境性」、「経済性」、「健康」、「味」を評価の基準として、「食事の献立に占める野菜の割合」を決定するアンケート用紙を試作した。本手法を用いることにより、食習慣を変えた際の CO₂ 削減効果を示すことができると考えられる。そのため本手法は、食習慣の改善を通して CO₂ 削減を目指す政策立案などに有用であると考えられる。本研究をより実用的なものにするためには、今後はアンケート及び AHP 手法の改良、さらに多くのアンケートデータの取得等が必要となる。

This research focuses on GHG emissions from our daily foods (See Fig.1) and aims to propose new lifestyle food choices to reduce GHG production. We evaluated the GHG generated from everyday foods a general person (GP) and a vegetarian (VG) consume. For GP data, we prepared questionnaires and collected data for food consumption of students on campus (See Fig. 2). For VG, we used a food menu[1] recommended by the international vegetarian union, because it was difficult to obtain a representative VG sample on campus. Evaluations of CO₂ were performed using both data[2][3] of equivalent CO₂ amount per food weight [CO₂-g/g] which include all processes (i.e. planting, harvesting, transportation, etc.) and food consumption [g] for every food we ate. Then the average amount of CO₂ emitted per day per person [CO₂-g/day/person] was estimated (See Fig. 3). In order to compare the results with other CO₂ generation sources, the amount of CO₂ from foods was examined using data[4] of CO₂ emissions from automobiles per kilometer [CO₂-g/km].

It is easy to imagine that a vegetable-centered life is good, not only for the environment due to the elimination of high-level GHGs like methane and nitric oxide but also for health. However, it is hard to change our eating habits in practice. In order to show the CO₂ reduction effects for selection of everyday foods, estimation methods based on human willingness for food selection was proposed. In this research, an established sociological decision-making-method - the Analytical Hierarchy Process (AHP)[5] - which has been used in many fields like policymaking and business projects, was selected (See Fig. 4).

As a results of estimation, it was found that CO₂ emissions per person are 5.13 [CO₂-kg/day] (vegetable: 29% , others: 71%) for GP and 4.34 [CO₂-kg/day] for VG. Those CO₂ emissions are equivalent to the amount of emitted CO₂-gas for 28 km-travel and 24km-travel by automobile, respectively. As for the AHP estimation, questionnaire sheets which considered "Environment", "Economic", "Health", and "Taste" as evaluation standards, and determined "Ratio of vegetable in food menu" were prepared. It can be seen that reduction effects of CO₂ based on food selections were estimated using this method. Therefore, this method has the potential to contribute to policy-making, which aims to reduce CO₂ emissions via our everyday food. In order to make the research more practical, it was considered important to improve the questionnaire- and AHP-methods and to collect more data.

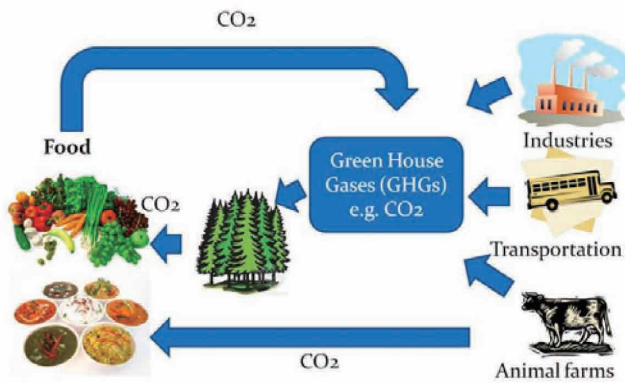


図1 食物からの温室効果ガスの概要
Fig. 1 Schema of GHG from foods.

図2 アンケート用紙
Fig. 2 Questionnaire sheet.

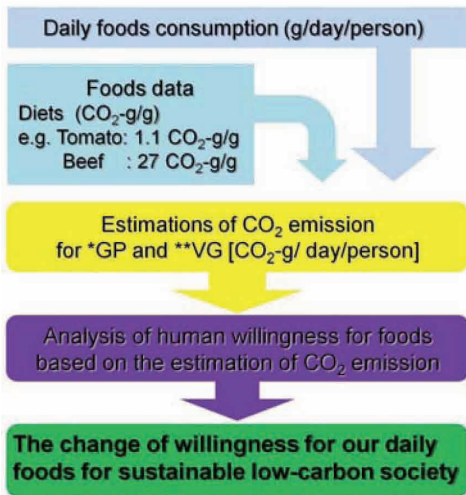


図3 研究の流れ
Fig. 3 Research flow.

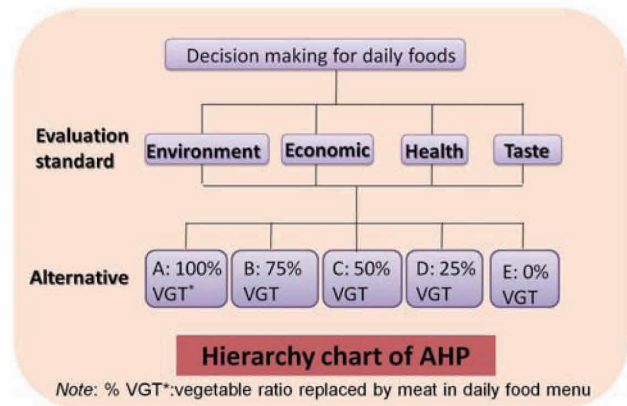


図4 AHPにおける階層図
Fig. 4 Hierarchy chart of AHP.

参考文献 / References

- [1] URL:http://fruit.easy-magic.com/user/index.php?menu_id=17&mode=view_content&news_content_id=174&page=1
- [2] URL:<http://timeforchange.org/eat-less-meat-co2-emission-of-food>
- [3] URL:<http://www.afpbb.com/article/environment-science-it/environment/2816222/7562795>
- [4] URL:http://www.smartgreenfood.org/jsp/front/story/story03_1_popup.jsp
- [5] 高萩栄一郎、中島信之、Excel で学ぶ AHP 入門、Ohmsha

バイオ技術の適用による CO₂ 隔離 / Aqua-farming and Biomimetic CO₂ Sequestration

アレタ アプリリア^a (インドネシア), 朴陞原^a (韓国), 金城良太^a (日本), 李在衡^a (韓国),
 興野文人^a (日本), 張紅娜^b (中国), 岩岡諒^a (日本), 園部太郎^a (日本)
 Aretha APRILIA^a (Indonesia), Seungwon PARK^a (Korea), Ryota KINJYO^a (Japan), Jea-hyeong LEE^a (Korea),
 Fumito OKINO^a (Japan), Hongna ZHANG^b (China), Ryo IWAOKA^a (Japan), and Taro SONOBE^a (Japan)

^a 大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science

^b 大学院工学研究科原子核工学専攻 / Department of Nuclear Engineering

研究概要

排出された二酸化炭素は温暖化の要因となっている。二酸化炭素は水に溶けるので (水和)、海などは地球温暖化に対して緩衝作用を持っている。しかしながら、二酸化炭素の水和は水質を酸性にする。このことから、二酸化炭素の回収、安定貯蔵は重要な研究対象である。

本研究は植物性プランクトンによる海洋養殖と酵素による炭酸ガス捕獲隔離に関するものである。これらの方法はいずれもバイオ技術を応用したものであり環境にやさしいという特徴を有する。本研究では、これらの方法について検討を行い、どちらの方法でも日本の CO₂ 削減目標を達成できることを示す。

1. 海洋植物性プランクトンの増殖

① 技術の現状及び問題点：海洋植物性プランクトンは全地球上での光合成活動の半分を担っており、海洋鉄散布によってその数を増やし、CO₂ を吸収させようという研究がおこなわれている [1]。この手法による大気中の CO₂ の削減が可能だとして、問題点は大規模な海洋改造は費用的に難しいという点にある。

② 本研究における提案：鉄散布による海洋 CO₂ 吸収を人類の経済活動の中に組み込むことを目的とし、石油の消費国から産油国へ向かう空荷のタンカーのバラスタタンクを利用した海洋鉄散布を考えた (図 1)。参考文献 1 において、1 トンの鉄溶液によって 300 km² の海域の光合成生物の生産性が 2 か月で 10 倍に増えたことが報告されている。地球上の海の面積 3.6×10^8 km² で年間 8×10^9 トンの CO₂ を吸収しているから、単純に 300 km² の海域では年間 6.7×10^3 トンの吸収があると考えられる。これらのことから 12 か月で 6 トンの鉄溶液を散布すれば、 $6.7 \times 10^3 \times 9 = 6.0 \times 10^4$ トンの CO₂ 吸収の増加が見込まれる。日本から産油国へは 70 隻の大型タンカーが年間 9 往復しており、一隻あたりのバラスタタンクの容量 1.3×10^5 トンのうち船の航行に支障のないよう 1×10^4 トンを鉄溶液の輸送に使うとすると、年間 $70 \times 9 \times 10^4 = 6.3 \times 10^6$ トンの鉄溶液が散布可能である。これにより $6.0 \times 10^4 \times 6.3 \times 10^6 / 6 = 6.3 \times 10^{10}$ トンの CO₂ の吸収が起こり、これは日本の年間削減目標 7×10^7 トンを二桁上回る数値である [2]。

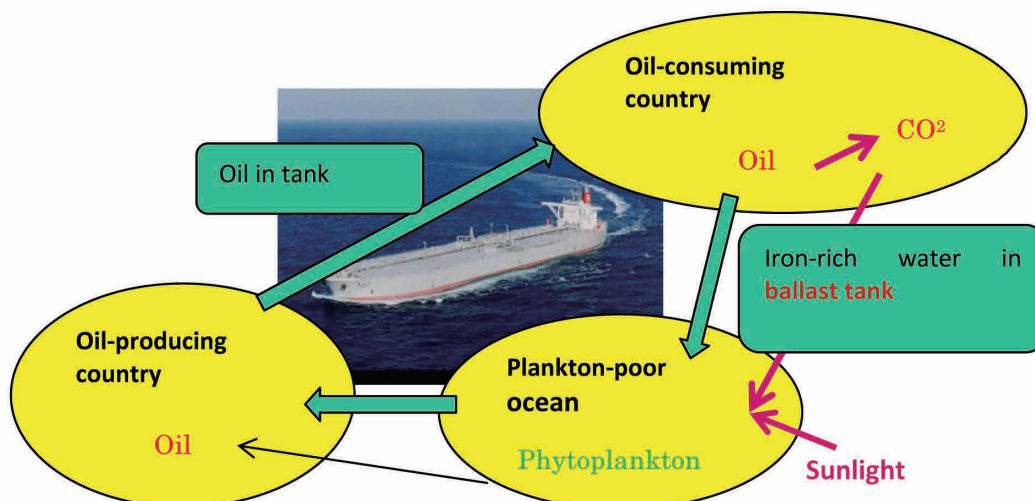


図 1 当グループより提案したタンカー使用案

Fig.1 Our proposed idea of using return voyage tanker.

2. 生体に倣った二酸化炭素回収法

① 技術の現状及び問題点：炭酸脱水酵素（CA）は、二酸化炭素を HCO_3^- に変換能を持つことから、炭素固定化用の生体酵素として知られている。 HCO_3^- は、カルシウムイオンの添加によって炭酸塩になる。この炭酸塩は安定であり、さらに、工業原料として使用できる。しかしながら、単離された CA は、安定性や触媒能が低いために研究段階にある。

② 本研究における提案：70%以上の炭酸ガスが回収された報告 [3][4] から、2009 年度の日本における二酸化炭素排出量から、どれ程の二酸化炭素を回収できるかを見積もった。例えば、エネルギー変換と工場部門による二酸化炭素の排出量は全体の 40% を占める。もし、この技術を適用できたら、エネルギー変換と工場部門からの排出量を 3 分の 1 に減らすことが出来ただろう [5]。この計算において、CA を利用した二酸化炭素回収技術は家庭から工場まで広い範囲で利用できると考えた。なぜならば、CA は樹脂などに固定化することでディスプレイカートリッジとして一般家庭に供給することが出来る (図 2)。また、工場等の大量に二酸化炭素を排出する部門においては、アミン溶液を使用した化学的吸着法と併用すれば高い能力を発揮することが知られており [3]、プラント型の施設を併設すれば高い効力での二酸化炭素吸着能を発揮すると考えられているからである。この技術を火力発電に適用することで、温暖化への影響を最小限にすることが出来る。

3. 結言

原子力発電から二酸化炭素を排出する火力発電への移行が、二酸化炭素排出を増加させる。それ故に、二酸化炭素を抑える技術の開発は、将来のエネルギーシステムを議論する上で非常に重要な議題である。また、二酸化炭素は、海などの酸性化も起こす。この報告で、我々は生物が持つ基礎的な機能に焦点を当てて、二酸化炭素回収量の見積もりを行うことが出来た。海洋植物性プランクトンの増殖法を使用した場合、鉄溶媒の高い安全性が求められる。また、生体に倣った二酸化炭素回収法では、使用する酵素（CA）の高い安定性と触媒活性能が求められる。しかしながら、両者とも生物が持つ基礎的な機能を使用することから、環境において非常に親和性の高い方法だと考えられる。

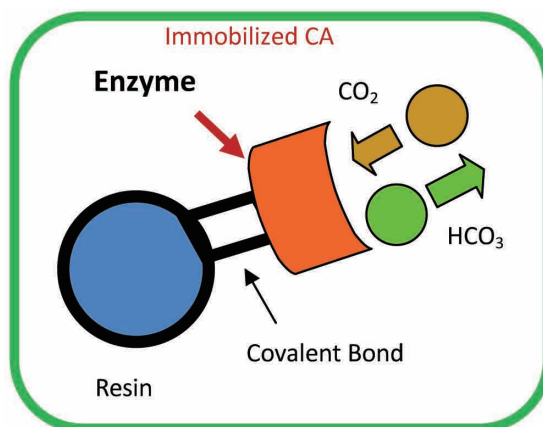


図 2 炭素固定化の概念図

Fig.2 Image of immobilized Carbon anhydrase.

Research outlines

Anthropogenic CO_2 emissions are one of main causes of global warming. The hydration of CO_2 plays a key role in preventing global warming. However, the hydration of CO_2 causes acidification which affects the global environment. Thus, research on carbon capture and sequestration technologies are important for us to maintain nature.

This study is concerning the issues of carbon dioxide capture and isolation by aquafarming of phytoplankton in ocean and artificial enzyme induced absorption. We show the possibility of achieve reduction target of CO_2 in Japan with either proposal.

1. Growth of marine phytoplankton.

① Current state and problems: phytoplankton in the ocean are responsible for half of the photosynthetic activity globally. A study to increase their number by iron fertilization ocean was conducted, which attempted to absorb CO_2 [1]. The reduction of CO_2 in the atmosphere is possible to be achieved by the application of this method; however the remaining issue is the economic cost of such large-scale ocean remodeling.

② Proposed in this study: ocean iron fertilization by back-loading empty ballast tanks of tankers en route from oil consuming countries to oil-producing countries with the aim to incorporate the absorption of CO_2 by ocean iron

fertilization into human economic activity (Fig.1).

Based on Reference 1, the productivity of photosynthetic organisms in a 300 km² area increased 10 times within two months by adding one ton of iron solution. Here, we assume that 6.7×10^3 tons of CO₂ is absorbed in the sea area of 300 km² per year based on a report that indicates the absorption of 8×10^9 tons CO₂ in total area of the sea on the earth (3.6×10^8 km²) [1]. If spraying 6 tons of iron solution in 12 months were to be conducted, the increase in CO₂ absorption of $6.7 \times 10^3 \times (10 - 1) = 6.0 \times 10^4$ tons is expected (if we assume no seasonal variation). 70 large tankers per year from oil-producing countries each complete 9 outgoing and return trips to Japan. If the transport of 1×10^4 ton of iron solution was undertaken so as not to delay the ship or significantly impact on ballast tank capacity of 1.3×10^5 ton per vessel then $70 \times 9 \times 10^4 = 6.3 \times 10^6$ tons per year dispersal of iron would be possible. CO₂ absorption of $6.0 \times 10^4 \times 6.3 \times 10^6 / 6 = 6.3 \times 10^{10}$ tons would be caused by this, which is three orders of magnitude greater than 7×10^7 ton Japan's annual reduction targets [2].

2. Biomimetic carbon dioxide capture.

① Current state and problems: Carbonic Anhydrase (CA) is well-known as a biocatalyst to sequester CO₂ through the conversion of CO₂ to HCO⁻. HCO⁻ can be mineralized by addition of calcium ion, and it converted into CaCO₃. According to the previous report, CaCO₃ has high stability, and it can be used as an industrial material [3]. This method does not affect the global environment. However, it still remains in the research phase because of the poor stability and activity of naturally derived CA [4].

② Proposed in this study: Prior work in which more than 70 percent of carbon dioxide gas was recovered was used for estimation of the amount of carbon dioxide that could be recovered [3][4]. This was compared with the total emissions of Japan in fiscal 2009. Considered in this calculation, the carbon dioxide recovery technology using CA is available in a wide range from domestic use to factory use. In the cases of energy exchange and industry sectors, CO₂ emission amounts account for about 40 % (467.9×10^9 kg) of total (1145×10^9 kg) [5]. If we had used CA application which extracts 70 % of CO₂ from gas emitted from generators and industries, the amounts would have become 140.4×10^9 kg. CA can be also supplied for domestic use as a disposable cartridge because CA is easily immobilized on resin (Fig.2). In addition, in the case of dischargers of large amounts of carbon dioxide, such as factories [3] CA can provide a high ability to isolate CO₂ in conjunction with chemical adsorption methods such as the amine solutions [4]. Thus power generation methods that do not contribute to global warming - such as the thermal power generation which applies carbon capture technology such as this may be plausible.

3. Conclusions

The current trend to make use of fossil fuel and coal instead of nuclear energy would lead to the increase of CO₂ emission. The reduction of CO₂ emission is indeed an important point of consideration for planning the future energy system. CO₂ is naturally hydrated, result in acidification of global environment. Here, we show that these methods have high possibilities of preventing global warming and acidification. In Growth of marine phytoplankton method, the high safety of iron solution is required. The high stability and activity of CA are required in biomimetic carbon dioxide capture method. The key technologies in both methods are the fundamental functions of living organisms, therefore those methods are environmental-friendly.

参考文献 / References

[1] The Ocean's Invisible Forest, Scientific American, August 2002

[2] 京都議定書目標達成計画 (<http://www.env.go.jp/houdou/gazou/5937/6699/2278.pdf>)

[3] Christopher K Savile, and James Lalonde. Biotechnology for the acceleration of carbon dioxide capture and sequestration. Current Opinion in Biotechnology 2011;22:818-823.

[4] Seung-Woo Lee et al. On carbon dioxide storage based on biomineralization strategies. Micron 2010;41:273-282

[5] 環境省 (<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/ghg/2009ghg.pdf>)

青柳西蔵^a (日本), ギュエン ザルング^a (ベトナム), 臧臨閣^a (中国), 河侑成^a (韓国), 文野通尚^a (日本),
ミシュラ ガウラブ^a (インド), モハメド オマル ネイジー^a (エジプト),
山川恵美^c (日本), 山下良樹^c (日本), 千田満^b (日本), 林栽瑢^d (韓国)
Saizo AOYAGI^a (Japan), Nguyen The LUONG^a (Viet Nam), ZANG Linge^a (China), Yoo-Sung HA^a (Korea),
Michinao BUNNO^a (Japan), Mishra GAURAV^a (India), Mohamed Omer NAGY^a (Egypt),
Emi YAMAKAWA^c (Japan), Yoshiki YAMASHITA^c (Japan), Mitsuru CHIDA^b (Japan) and Jae-Yong LIM^d (Korea)
^a 大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science
^b エネルギー理工学研究所 / Institute of Advanced Energy
^c 大学院工学研究科原子核工学専攻 / Department of Nuclear Engineering
^d 原子炉実験所 / Research Reactor Institute

二酸化炭素排出削減に向けて、世界中の大学で多くの研究が行われている。しかし、京都大学が排出する二酸化炭素は膨大 [1] であり、エネルギー効率の悪い老朽化した建物が多く存在する。2010 年には、年間のエネルギー消費量は 1,115 TJ、二酸化炭素排出量は 86 千トン [1][3] にも及び、年間の光熱費は 30 億円 [2] に達した。

そこで、エネルギー効率を改善するために、「グリーンキャンパス」の概念を京都大学に導入することを考えた。「グリーンキャンパス」とは、例えばエネルギー効率の高い設備やシステムを導入するといった様々な方法によって、二酸化炭素排出ゼロを目指す大学のことである。我々のグループ研究では、以下三通りの方策を用いることによって、京都大学のエネルギー消費量、二酸化炭素排出量、そして光熱費の削減量を求めた。一つ目は、熱有効利用として、二重ガラスを採用する事。二つ目は、LED ランプと革新的なスイッチシステムを用いることで、有効に光を利用する事。そして、新たな輸送システムを構築することである。

1. 熱有効利用

従来の一重ガラス窓に代わり二重ガラス窓を導入する事で、断熱効果を高めることが目的である。近年、耐震補強工事の一環で、窓ガラスを二重にする工事が行なわれている。今回の研究では、吉田キャンパス内において、まだ二重窓ガラスが導入されていない工学部の 5 校舎 [2] を対象とし、二重ガラス窓導入による二酸化炭素排出削減量を計算した。計算方法は、以前、京都大学が用いた方法を採用した [3]。結果、年間で約 30 トンの二酸化炭素排出量を削減する事が可能である事がわかった。計算に用いた建物数が少ないため、削減量も少ないが、二重ガラス窓に限らず、壁や屋根の断熱対策を併せて行なう事で、二酸化炭素排出削減に大きな効果があると期待できる。

2. 光有効利用

京都大学において、20 部屋以上・総床面積 1,000[m²] に対して、電球数とスイッチ数を調べた。結果、一つのスイッチに対して、5.2 個の電球が対応していた。そこで、新たな照明システムとして、各スイッチに対応する電球数の削減を考えた。これによって、不必要な電気の使用を削減することが狙いである。各スイッチに一つの電球を対応させ、各階の電球設置数を段階的に減らす方策で、照明に費やされる電力消費量を、約 25%削減する事が可能である。建物一階では、電球数の 1/4 を削減、二階、三階では電球数を 1/3 に削減、建物 4 階、五階では、1/2 の電球数を削減するとして、計算を行なった。また、照度を 6[W/m²] に保つために、太陽光の 60%を利用することを考えた。

さらに太陽光を有効に利用するために、光透過率の高いガラス窓を屋根や壁面に設置し、壁面に反射効率の高い素材を使用することによって、日中の照明利用を削減する事を考えた。これらの対策によって、19,228 [t/year] から 14,421 [t/year] まで二酸化炭素排出量を削減することが可能である。さらに、蛍光灯に代わって LED 電球を用いると、消費電力量を約 30%程度、削減することができる [5]。LED 電球を使用すれば、二酸化炭素排出量は、9,614[t/year] に削減される。

3. 新たな輸送システム

京都大学の教職員・学生の 6%に当たる 1,500 人が、ガソリン車で通勤通学をしており、年間 75 トンの二酸化炭素を排出している [1]。そこで、新たな輸送システムとして、京都大学全キャンパス構内に乗り入れるガソリン自動車には、年間 1 万円の支払いを課すことを導入する。全構内に乗り入れるガソリン自動車利用者の半数が利用をやめたと仮定すると、年間 32.5 トンの二酸化炭素排出量が削減でき、750 万円の収入が見込まれる。得られた収益によって電気自動車 (EV) を二台購入する。EV シェアシステムは、吉田キャンパスと宇治または桂キャンパス間で走行するシャトルバスの補助的な役割を果たすと想定する。EV シェアシステムの利点を以下に示す。

- (1) 二酸化炭素排出を削減できる。
- (2) 京都大学に太陽光発電システムが導入されれば、EV シェアシステムによって、エネルギーを有効に利用する事ができる。

(3) EV シェアシステムを利用すれば、シャトルバス利用時の様に、発車時刻等を気にする必要がない。

EV シェアシステムを利用するためには利用登録を必要とする。EV シェアシステム利用者はシャトルバス利用者に比べて多くはないと想定できる。そこで、EV シェアシステムの利用頻度は、EV 一台につき、一日に一往復の利用を仮定する。吉田キャンパスと、宇治または桂キャンパス間の距離は、約 20km である。京都大学に所属する人は、利用料金を払って共同電気自動車を利用することができる。電気自動車の燃料である電気は、太陽光発電によって賄われる。電気自動車一台当りの CO₂ 排出削減量が 0.1[kg/km] と仮定し、平日一人当たり一度の利用があるとすると、年間 1 トンの二酸化炭素排出量を削減できる。まとめると、新たな輸送システム導入によって、年間 33.5 トンの二酸化炭素排出量の削減が可能である。

以上、三つの方針を導入することによって、京都大学全体で約 11%の二酸化炭素排出量を削減できることがわかった。これらのシンプルな方針を全キャンパスに導入することで、二酸化炭素排出削減量を増加させる事が期待できる。

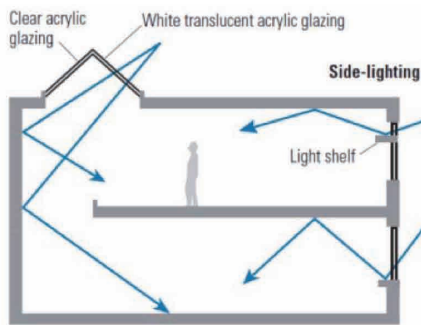


図1 太陽光を有効に利用した建物

Fig.1 Building with efficient use of sunlight.

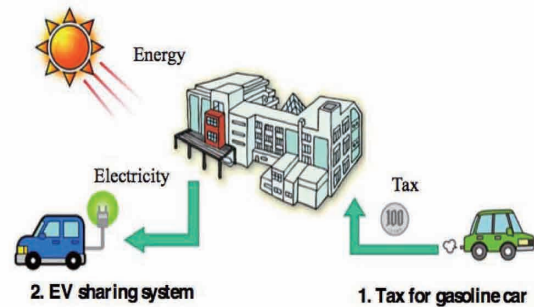


図2 新たな輸送システム

Fig.2 A new transportation system.

To reduce CO₂ emissions, a lot of research has been conducted in universities around the world. However, Kyoto University [1] has a lot of old, energy-inefficient buildings, and the amount of CO₂ emissions has almost doubled in the past 18 years [2]. Annual energy consumption is about 1,115[TJ], and CO₂ emissions are 86,550[t] in Yoshida, Uji, Katsura, Kumatori, Inuyama and Yoshino campus [1][3]. Furthermore the annual energy cost in Kyoto University is about 3 billion yen [2]. In other words, we emit a lot of CO₂ and spend a lot of money for energy.

In order to improve the energy efficiency in Kyoto University, we try to introduce the concept of “Green campus”. The green campus is aiming to achieve zero CO₂ emissions by various measures such as introducing energy efficient facilities and systems. In our study, we evaluate how much we can reduce energy consumption, CO₂ emissions and energy cost in Kyoto University by three measures: efficient heating system using double-glazed glass, efficient lighting systems such as LED illumination and new light switching system, and a new transportation system.

1. Efficient heating system

To achieve good insulation, we consider introduction of a double-glazed windows instead of a single-glazed windows. Single-glazed windows of almost all the buildings were changed to double-glazed windows as part of seismic strengthening work [4]. We have chosen five buildings still using single-glazed windows in engineering department in Yoshida campus for this research [4]. The calculation method [5] used by Kyoto University in 2007 has been followed here. By this method, CO₂ emissions can be reduced by 30[t/year]. This amount is quite small because only five buildings were considered in this research. However, in addition to usage of double-glazed window system, high-insulated walls and roofs are also promising methods for reducing CO₂ emissions.

2. Efficient lighting system

At Kyoto University, we counted the number of lamps as well as the number of switches more than 20 rooms covering 1,000 [m²]. As a result, the single electric switch usually operates typically 5.2 lamps. A new idea that decreases number of lamps per switch was examined in this study. Accordingly, a reduction of unnecessary usage of light can be expected. For one lamp per switch, a de-lamping policy can save 25 % of the electric power consumed for lighting. The calculation is based on removing one lamp out of four in the first floors, one out of three in the second and third floors, and one out of two for the fourth or fifth floors. We consider that we can use 60 % of the daylight to keep the illumination power density at least at 6 [W/m²]. Moreover, we consider further utilization of daylight through roofs and windows with high visible transmittance and internal walls with high reflectance. The emissions of CO₂ can be decreased from 19,228 [t/

year] to 14,421 [t/year]. In light of the above considerations, implementing LED lamps rather than fluorescent ones can provide additional saving of power [5]. This saving is around 30%. In the case of using the LED technology for lighting, the expected CO₂ emissions fall to 9,614 [t/year].

3. New transportation system

The number of people who commute to Kyoto University by car is about 1,500 (6% of all students and staff) however, the amount of CO₂ emissions is 75[t/year] (50% of CO₂ emissions in the transportation system)[1]. A new transportation policy to impose a ¥10,000 tax per year on each gasoline car which enters all campuses of Kyoto University is introduced. If we assume that half (750 people) stop using gasoline cars, 32.5[t] of CO₂ emission can be reduced and ¥7,500,000 of tax income can be obtained in a year. We can buy 2 EVs with this income. Then Kyoto University can apply an EV sharing system requiring a usage fee. We assumed that the EV sharing system plays a subservient role to the shuttle bus service between Yoshida and Uji or Katsura campus in Kyoto University. The advantage of EVs are written as below,

- (1) CO₂ emission can be reduced.
- (2) If a solar power system is installed in Kyoto University, we can use clean electricity by in the EV sharing system.
- (3) Compared to using the shuttle bus service, we can move between two campuses without considering time.

In order to use EV sharing system, the registration is required and many people might not use this system comparing to the shuttle bus. Then, we assumed that people use the EV sharing system one round trip per day. The distance between Yoshida and Uji or Katsura campus is about 20[km] and 0.1 [kg/km] of CO₂ emission can be reduced by using the EVs comparing to by using the gasoline cars. In a result, CO₂ emissions by transportation can be reduced by 1.0 [t/year]. To summarize this section, we can reduce CO₂ emissions by 33.5[t/year].

In order to reduce the CO₂ emissions in Kyoto University, we have proposed the concept of a “Green campus.

To achieve this concept in Kyoto University, a double-glazed window system, efficient-lighting system and new transportation system have been considered. With these three methods, CO₂ emissions in Kyoto University can be reduced by 11%. We can expect that further reduction of CO₂ emissions could be achieved by introducing these simple ideas to all campuses in Kyoto University.

参考文献 / References

- [1] 地球温暖化防止対策と大学活動 (<http://homepage1.nifty.com/eco/pdf/campus.pdf>)
- [2] 京都大学のエネルギー消費量 (<http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/profile/environment/saveenergy/shoene2.htm>)
- [3] 環境負荷データ 2010 (<http://www.esho.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2011/07/h22.pdf>)
- [4] 京都大学正接の耐震性能 (http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/profile/safety/aseismatic/documents/110421_1.pdf)
- [5] 耐震補強工事における省エネルギー対策の概要 (http://www.kyoto-u.ac.jp/ja/profile/environment/saveenergy/ku_internal/documents/shoene14_1_1.pdf)
- [6] 関西電力電気料金シミュレーション :(<https://www2.kepco.co.jp/eigyonet/servlet/N08.simulation.N08NB00Servlet>)

集中型及び分散型の電力システムの開発計画の比較検討：中国とインドネシアに学ぶ /

A Comparative Analysis of Electricity Expansion Planning through Centralized and Decentralized Systems: Lessons from China and Indonesia

ウィジャヤ ムハマド エリ^a (インドネシア), 焦利芳^b (中国), ル ホアン ロング^a (ベトナム), 権暁星^a (韓国), 安田賢司^a (日本), 山本泰功^a (日本), 武川哲也^b (日本), 嚴男一^a (韓国), 甲田紫乃^a (日本), 林栽培^c (韓国)

Muhammad Ery WIJAYA^a (Indonesia), Li-Fang JIAO^b (China), LE Hoang Long^a (Vietnam), Hyoseong GWON^a (Korea), Satoshi YASUDA^a (Japan), Yasunori YAMAMOTO^a (Japan), MUKAWA Tetsuya^b (Japan), Nam Il UM^a (Korea), Shino KODA^a (Japan) and Jae-Yong LIM^c (Korea)

^a 大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science

^b 大学院工学研究科 / Graduate School of Engineering

^c 原子炉実験所 / Research Reactor Institute

中国とインドネシアでは、近年の経済成長によってエネルギー需要が急激に増加しており、エネルギーの転換・消費の際に発生するCO₂の排出量が増加することによって環境への影響が深刻化することが懸念される。これらの国では増加する電力需要に対応するために電力長期計画を立てる必要がある。そこで本研究では、低炭素社会を実現するために最適な電力システムを考えるために、これらの国への「集中型」の電力システムと「分散型」の電力システムの適用についての比較を行った。

電力システムと人口分布や地理的条件、エネルギー資源、将来のエネルギー需要等の関係性を評価するために、異なるタイプの電力長期計画が必要であると考えられる中国とインドネシアの比較を行った。インドネシアと中国の再生可能エネルギーの資源量を表1と表2にそれぞれ示す。中国では人口が地方に偏在しており、一方で都市化も急激に進んでいる。また、風力や太陽光といった再生可能エネルギーの資源が豊富であり、原子力発電も推進しているため、中国では集中型と分散型の電力システムを併用することが適している。インドネシアでは島国であるという地理的な条件から、大規模な送電システムを用いると膨大な費用がかかるため、分散型の電力システムが適している。

本研究では、ケース1とケース2の2つのシナリオの比較を行った。ケース1は政府が作成したものであり、ケース2よりも多くの大規模な火力発電が取り入れられている。ケース2はエネルギー供給に原子力発電と水力、バイオマス、風力等の小規模発電による分散型の電力システムを積極的に導入したものである。

図1から、中国では2010年の集中型の電力システムよりも2030年の集中型と分散型を併用した電力システムの方が3.34億トンものCO₂排出削減効果があることが分かる。同様に、図2からインドネシアの2030年の分散型の電力システムにおいても0.39億トンものCO₂排出削減効果があることが分かる。これらの2カ国の調査から、地理的な条件や人口分布、エネルギー資源等に依存する分散型のエネルギーシステムを有効利用することで、更なるCO₂排出削減が期待できることが明らかになった。

Table 1. Indonesia renewable energy potential.

Type	Potential, MW	Installed Capacity (MW)	Percent (%)
Large Hydro	75,670	4,200	5.6
Geo	28,530	1,189	4.2
Mini Hydro	500	86	17.2
Biomass	49,810	445	0.9
Solar	4.8kWh/m ² /d	14	-
Wind	3-6m/s	1.4	-
Total	154,510	5,936	3.84

Source: Ministry of Energy and Mineral Resources, 2010

Table 2. China's renewable energy potential.

Type	Theoretical potential (10 ⁸ KW)	Economic potential (10 ⁸ KW)	Installed Capacity (10 ⁶ KW)
Wind	43	7-12	16.13
Solar	1700 billion tce	22	0.3
Biomass	-	-	4
Hydro	6	5	196.79
Geo	462.65 billion tce	0.2	
Ocean	6100	9.9	
Total	-	59	

Source: Renewable energy development strategy, China Academy of Engineering, 2008

The high growth of economic development in China and Indonesia has caused a sharp increase of energy demand. Consequently, the development of energy supply should be increased in line with demand growth, with subsequent increasing impact on the environment due to carbon emissions as a by-product of energy conversion and consumption. To meet vast growth in energy demand and increase access to the energy consumption, particularly in the electricity sector, long-term electricity planning in both countries has to be set. Therefore, the aim of this study is to compare the application of centralized and decentralized systems in two countries in order to achieve a target of low carbon emissions.

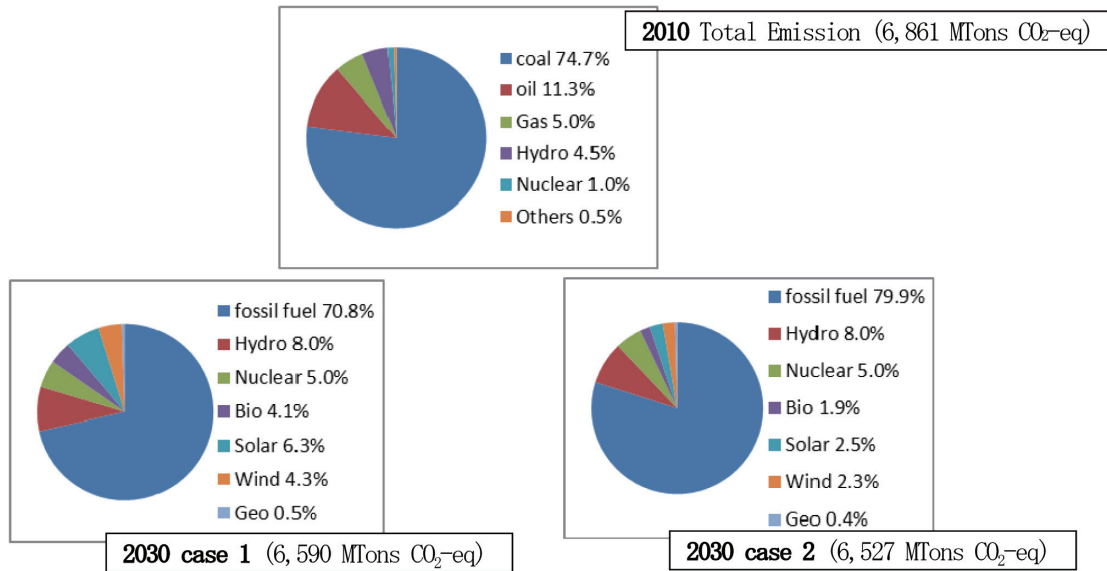


Figure 1 China's Energy Mix in current and future (Electricity Production: 2010, 2200MTce; 2030,5500MTce).

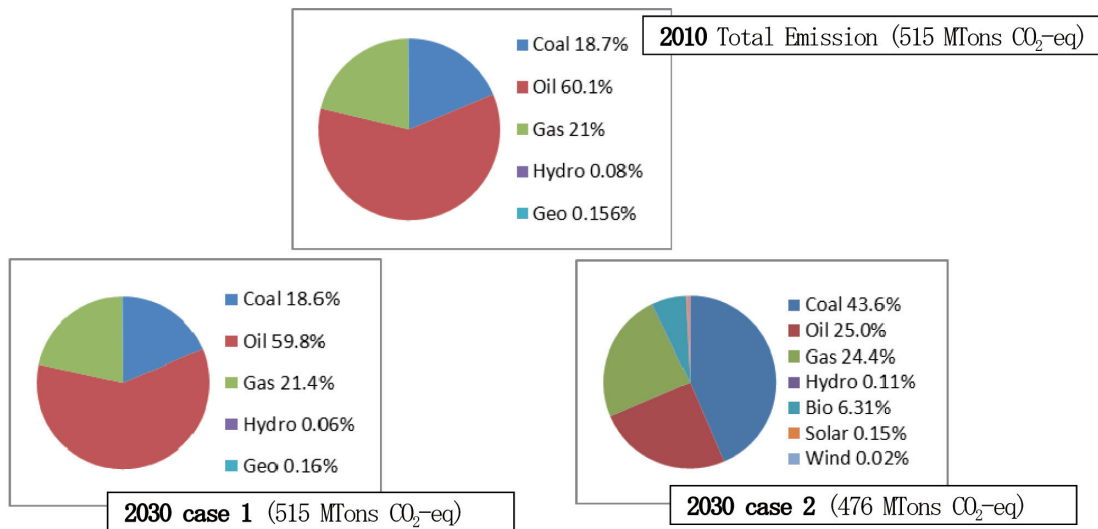


Figure 2 Indonesia's Energy Mix in current and future (Electricity Production: 2010, 166.4TWh; 2030, 667.3 TWh).

We evaluated the long-term electricity planning in two countries, which are going to use different patterns according to its renewable energy potential, as shown in Table1 and Table2, and its geographical and demography conditions: the mix of centralized and decentralized systems in China and decentralized system in Indonesia in order to find out characteristics of demography and geographical conditions, availability and access to energy resources, and growth of energy demand in the future. The situations are as follows: in China, the population is concentrated in rural areas and the urbanization level is increasing rapidly. Moreover, the potential of large-scale renewable energy resources such as wind energy and solar energy is very advantageous for development, in addition to the nuclear power development. This makes China suitable to develop a mix of centralized and decentralized systems. In Indonesia, the geographical conditions, as an archipelagic country, makes the development of decentralized system preferable, since the

development of interconnected grid will require a huge cost.

In this study, we developed two scenarios: Case 1 and Case 2. Case 1 is the scenario developed by the government with emphasis more on the development of conventional fossil fueled power plants, which are installed in large capacities. In Case 2 the energy supply mostly relies on nuclear power development and local energy resources, such as hydro power, biomass and wind, which normally generated in low installed capacity.

The results show that in China, planning to expand the electricity supply by using mix of centralized and decentralized systems in 2030 results in emissions reduction as compared to the centralized system in 2010, by 334 million tonnes CO₂-eq as shown in Figure 1. Likewise, in Indonesia, as shown in Figure 2, the application of decentralized energy system results in significant emissions reduction, accounted for about 39 million tonnes CO₂-eq of reduction. Lesson learned from two countries, we found that it is possible to further reduce the CO₂ emissions by properly using the decentralized power system which depends on these factors: geographical condition, demography (including center of energy demand), and energy resources.

参考文献 / References

- [1] CDI-EMR (Center for Data and Information on Energy and Mineral Resources) (2010). Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia. [http://prokum.esdm.go.id/Publikasi/Handbook% 20of% 20Energy% 20&% 20Economic% 20Statistics% 20of% 20Indonesia% 20/Handbook% 202010.pdf](http://prokum.esdm.go.id/Publikasi/Handbook%20of%20Energy%20&%20Economic%20Statistics%20of%20Indonesia%20/Handbook%202010.pdf). Accessed 10 December 2011.
- [2] 国家统计局国民经济综合统计司. 新中国六十年统计资料汇编. 北京: 中国统计出版社. 2010年:6. ISBN 978-7-5037-5894-2. http://www.stats.gov.cn/tjfx/ztfx/xzgwsnxlfxbg/t20020605_21432.htm
- [3] <http://www.geni.org/globalenergy/library/renewable-energy-resources/world/asia/solar-asia/solar-china.shtml>
- [4] <http://www.sp-china.com/powerSources/wp.html>
- [5] Centre for Renewable Energy Development (CRED) report, 08 March 2011
- [6] Renewable energy development strategy, China Academy of Engineering, 2008

原子力発電の規模縮小に伴う電気自動車の将来性 / Applicability of Electric Vehicle Usage with Less Nuclear Power Plants in Japan ~ Are EVs OK or not? ~

権セロム^a (韓国), 小島宏一^a (日本), 西岡賢二^a (日本), 深澤一仁^b (日本), ハニ ホセン ネギム^a (エジプト), アブ マンソル モハマド ラジ^a (マレーシア), ファジャール ゴエンピラ^a (インドネシア), 徐任述^a (韓国), 中井靖記^a (日本), 小柳孝彰^a (日本), 山内一慶^a (日本)
Saerom KWON^a (Korea), Hirokazu KOJIMA^a (Japan), Kenji NISHIOKA^a (Japan), Kazuhito FUKASAWA^b (Japan), HANI Hussein Negm^a (Egypt), Mohd Radzi ABU MANSOR^a (Malaysia), Fadjar GOEMBIRA^a (Indonesia), Im-sul SEO^a (Korea), Yasunori NAKAI^a (Japan), Takaaki KOYANAGI^a (Japan) and Kazuchika YAMAUCHI^a (Japan)
^a 大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science
^b 大学院工学研究科原子核工学専攻 / Department of Nuclear Engineering, Graduate School of Engineering

1. 原子力発電や電気自動車といった低炭素化技術は、地球温暖化問題解決に有効であると考えられている。原子力発電は、2011年3月の福島第一原子力発電所の事故が起こるまでは日本における総発電量の約30%を占め[1]、低炭素社会を実現する上で重要な役割を果たすものと期待されていた。事故以降、多くの国民が原子力に反対するようになったが、原子力を用いない場合には発電に伴う二酸化炭素排出量が増加するということを正しく認識する必要がある。一方、電気自動車は環境に優しい技術として受け止められており、今後も市場の拡大が見込まれる。しかし、原発規模が縮小した場合には、その動力源となる電気はガソリンに比べ二酸化炭素排出量の観点から「クリーン」でない可能性がある。本研究では、全発電量に占める原子力発電の割合が大震災前の30%から2011年末の3%まで低下した場合における電気自動車の二酸化炭素排出量を調べ、既存のガソリン車やハイブリッド車と比較することで、2020年に電気自動車が二酸化炭素排出削減にどの程度寄与できるかを検討した。

1. Low-CO₂-emission technologies, such as nuclear power and electric vehicles (EV) have been widely promoted as a way to cope with the global warming issue. Nuclear energy, which contributed to about 30% of total electricity production in Japan [1] before the Fukushima accident in March 2011, had been expected to play an important role in the achievement of a low carbon society. Though a majority of the population has come against nuclear energy due

to the accident, it should be properly acknowledged that CO₂ emissions from electricity generation would increase with less nuclear utilization. On the other hand, electricity consumption in Japan will likely escalate if the EV market is expanded as planned. Presently, EVs are regarded as one of the most popular environmentally-friendly technologies, and its market is expected to expand. But performance of EVs for CO₂ reduction with electricity provided by an energy mix with less nuclear may not be advantageous compared with that of gasoline vehicles (GV). In this research, CO₂ emissions from the use of EVs were estimated in the case that contribution of nuclear power to the total electricity supply in Japan decreases from 30% to 3%. Comparing it with CO₂ emissions from the latest GVs and hybrid vehicles (HEV), applicability of EVs for the transportation system in 2020 was evaluated.

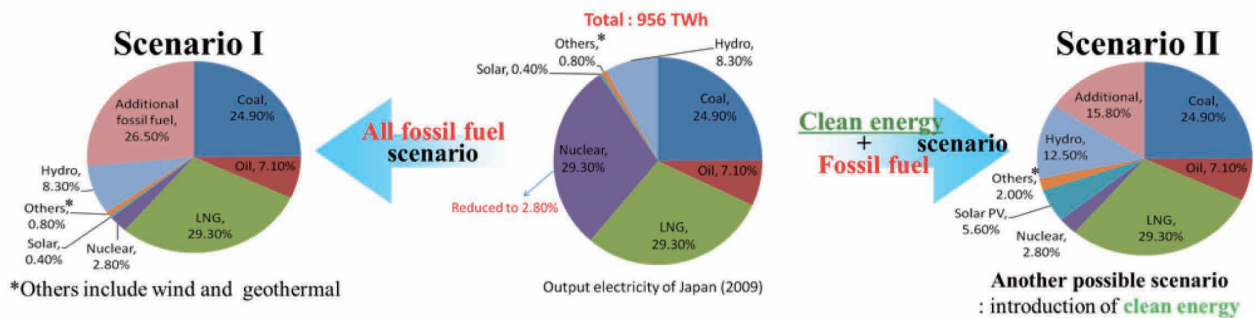


図1 電気供給の現状と想定されるシナリオ

Fig. 1 Present situation and future scenarios for electricity supply.

2. まず、原子力発電による発電量割合が30%から3%に減少した場合に、電気自動車による電力需要の増加に対応するための電力供給計画について検討した。シナリオ1として、図1に示すように電力不足分を化石燃料による火力発電で代替する方法が考えられる。シナリオ2として、日本政府によるクリーンエネルギー導入計画 [2] に基づき電力供給を行う方法が考えられる。シナリオ1は容易に実現可能であると考えられるが、地球温暖化問題は解決されない。クリーンエネルギーを利用するシナリオ2は、環境には優しいが、経済性やインフラ整備が課題となる。

2. In order to cope with increases demand of electricity due to increase in the number of EVs, fossil fuel can substitute for the drop from 30% to 3% of electricity supplied by nuclear power in Japan (Scenario 1 shown in Fig. 1). Part of the drop can be compensated for by the introduction of renewable energy as planned by the Japanese government (Scenario 2) [2]. Though Scenario 1 seems to be feasible, the global warming problem still remains. Scenario 2 with renewable energy shows high environmental friendliness, but economical feasibility and stable energy infrastructure may not be equally successful.

3. 次に、シナリオ1について、買い替え周期を12年、年間走行距離を8,300 km [3]として車種別の二酸化炭素排出量を見積もった。その結果を図2に示す。これによると、原子力発電の代替として、最も二酸化炭素排出量が少なく現実的である天然ガス火力発電を用いた場合でも、電気自動車の二酸化炭素排出量は最新のガソリン車と比べて走行時の二酸化炭素排出量は大差なく、製造過程で排出される二酸化炭素を考慮するとむしろ増加する。二酸化炭素排出量の観点からは原子力発電の減少分を石炭で代替するのが最も悪い結果となるが、この場合には輸送時の排出量が最新のガソリン車とほぼ同程度まで増える。現在のところはハイブリット車が最も環境に優しい車であるといえる。

3. Next, CO₂ emissions were estimated for each type of vehicle with the assumptions of a 12 year lifecycle and a 8,300 km/year travel distance [3]. The results are shown in Fig. 2. Replacement by LNG is the best and most realistic alternative to nuclear power, while replacement by coal is the worst for CO₂ reduction. In the former case, even though CO₂ emissions from transportation with EVs are less than compared with the latest GVs, total CO₂ emissions of EVs are rather high when CO₂ emissions during production are taken into account. In the latter case, EVs emit as much CO₂ as the latest GVs even in transportation. HEVs are the most environmentally-friendly vehicle at present.

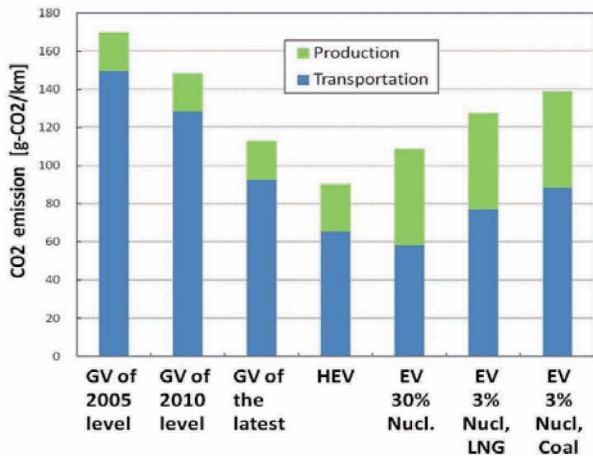


図2 車種別二酸化炭素排出量

Fig. 2 CO₂ emissions from each type of vehicle
(Latest GV: Mazda SKYACTIV, HEV:
Toyota Prius, EV: Nissan Leaf).

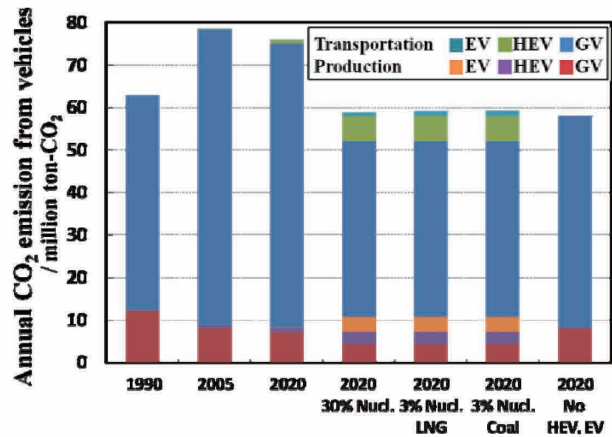


図3 二酸化炭素総排出量

Fig. 3 Comparison of total CO₂ emissions.

さらに、今後現在のペースで古くなった乗用車が新しいもの買い替えられるものとして、2020年における乗用車の製造と走行による二酸化炭素総排出量を計算した [3]。その結果を図3に示す。最新のガソリン車、ハイブリッド車および電気自動車に買い替えがなされれば、二酸化炭素排出量は1990年レベルまで減少することがわかる。ハイブリッド車と電気自動車の割合が増えれば、製造過程における二酸化炭素の排出は増加するが、走行時の排出量が減少するため、全体の二酸化炭素排出量は最新のガソリン車のみを導入した場合と同等に減少する。

Total CO₂ emissions from production and transportation of vehicles in 2020 were estimated from the results above and the predicted number of vehicles in Japan [3]. The results are shown in Fig. 3. It shows a decrease on 1990 levels until 2020 by replacing old GVs with the latest ones, HEVs, or EVs. The increase of CO₂ emissions from production process of HEVs and EVs cancels their CO₂ reduction performance in transportation.

4. レア金属の使用などによる電気自動車やハイブリッド車の製造過程における二酸化炭素排出量の増加は、原子力発電の規模縮小に伴い約30%拡大すると予想される。製造過程の改善により二酸化炭素排出量を減少させない限り、排出量を最小化するためにはエネルギー源として原子力発電を利用することは避けられないと思われる。

4. Increased CO₂ emissions from production process of EVs and HEVs partly because of the use of rare metals would be further expanded by approximately 30% with less nuclear plants. Unless the production process could reduce the amount of CO₂ emissions, the dependence on nuclear power plants as a source of energy may be inevitable to minimize the emissions.

参考文献 / References

- [1] The Federation of Electric Power Companies of Japan, Electricity Review Japan 2011, http://www.fepc.or.jp/english/library/electricity_eview_japan/_icsFiles/afiedfile/2011/01/28/ERJ2011_full.pdf
- [2] Ministry of Economy, Trade and Industry Preparations for the Introduction of the Feed-in Tariff Scheme for Renewable Energy, August 2010
- [3] Ministry of environment, 次世代自動車普及戦略, <http://www.env.go.jp/air/report/h21-01/index.html>, 2009.

京都市における CO₂ 排出削減にむけた交通量削減政策による新しい生活スタイルの提言 / Proposal of New Lifestyles to Implement Traffic Mitigation Strategies for CO₂ Reduction in Kyoto City

梶原泰樹 (日本), 金成勲^a (韓国), 瀬戸春樹^b (日本), 高井啓之^c (日本), 秦瑀^a (中国),
ファン ソン ホン^b (ベトナム), マカライグリア クリスティーナ^a (フィリピン), 山崎宗彦^a (日本),
吉田恭平^a (日本), ラベマヌルンツ ハリファラ ファノハシナ^a (マダガスカル), 山内一慶^a (日本)
Taiju KAJIWARA^a (Japan), Sunghun KIM^a (Korea), Haruki SETO^b (Japan), Hiroyuki TAKAI^c (Japan),
QIN Yu^a (China), PHAM Son Hong^b (Vietnam), MACARAIG L. Cristina^a (Philippines), Munehiko YAMASAKI^a (Japan),
Kyohei YOSHIDA^a (Japan), Rabemanolontsoa Harifara FANOHASINA^a (Madagascar) and Kazuchika YAMAUCHI^a (Japan)

^a 大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science

^b 大学院工学研究科 / Graduate School of Engineering

^c エネルギー理工学研究所 / Institute of Advanced Energy

ガソリンに代表される化石燃料の使用は CO₂ 発生の大きな原因となっていることが知られている。一方、大都市における深刻な交通渋滞は頻繁な発進、停車やアイドリングを伴い、通常走行に比べてより多くの CO₂ を排出することが知られている。本研究ではこれらの問題に対して、ラッシュアワー時における走行車両台数制限政策による解決を提言する。本研究では車両のナンバープレートの末尾の数字によって走行禁止の曜日を定める政策を行った場合における CO₂ 排出量の推移の解析を行った (月曜日:1 と 2、火曜日:3 と 4、水曜日:5 と 6、木曜日:7 と 8、金曜日:9 と 0)。この政策により、ラッシュアワー時に 20%の車両が削減され、代替手段として公共交通機関を利用すると考えられる。本研究では上記の交通量削減政策が CO₂ 排出削減に効果的であるか調査するために、京都市のピーク時における交通量データと非ピーク時における交通量データを用いて解析を行った。

京都市内の 5 つの地点における観測データからピーク時の車の車両数を 241,959、非ピーク時の車両数を 147,505、ピーク時の平均時速を 31km/h、非ピーク時の平均時速を 40km/h とした。京都市における平均通勤時間は 31.9 分 [1][2]、燃費の計算はアメリカエネルギー省の「Fuel economy guide 2012」より、ピーク時 10.63km/l、非ピーク時 12.75km/l として解析を行った。1 台の車に 1 人が乗車していると仮定しており、この場合、48,932 人が新たに公共交通機関を利用することとなる。ここで、簡単のために 48,932 人全員が電車を利用する場合 (case1) と全員がバスを利用する場合 (case2) を考える。case1 では現在の乗車率をそのまま用いると単位時間あたりの列車の本数を 130%に増加させる必要があり、case2 では同様に 250%に増加させる必要があることが明らかになった。現在の京都市の CO₂ 排出量 (56,463 kg/km) に比べ、case1 では (41,759 kg/km 26%削減)、case2 では (43,816 kg/km 23%削減)、また、CO₂ 排出量の代替手段を利用した場合は (40,610 kg/km 28%削減) という結果が得られた。

走行車両台数制限政策により CO₂ 排出量の大幅な削減が見込まれることが本研究から明らかとなったが、これらの結果を実際に得るためには、京都市民の本政策に対する同意が得られる必要があることに留意すべきである。同様に、公共交通機関のピーク時のキャパシティをどのようにして引き上げるのかも重要な問題となる。

The use of fossil fuels such as gasoline to drive vehicles leads to large amount of CO₂ emissions. In the mean time, numerous vehicles on the road also causes serious traffic jams in big cities. Particularly, during traffic jams, the starts, stops, and idling of the cars contribute to more CO₂ emissions than in a normal run. Pollution is, thus, more important during the rush hours. To solve these problems, limiting the number of running vehicles in big cities during the rush hours using policy and regulations is suggested in this study.

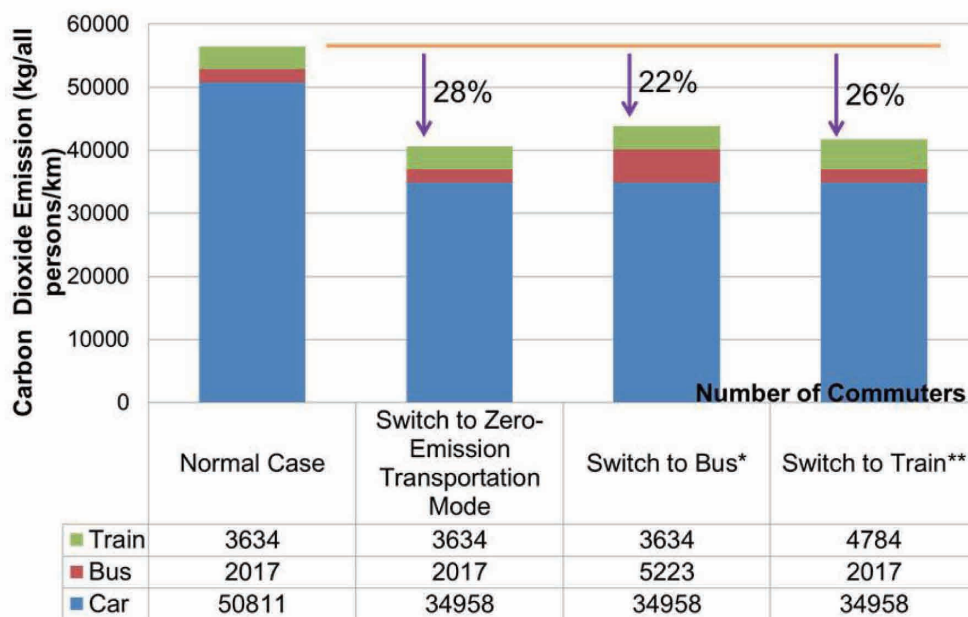
The proposed policy involves the prohibition of cars running with the last digits in the license plate of 1 and 2 during the rush hours of Mondays, 3 and 4 during the rush hours of Tuesdays, 5 and 6 during the rush hours of Wednesdays, 7 and 8 during the rush hours of Thursdays, and 9 and 0 during the rush hours of Fridays. Because the quadruple digits of license plates in Japan are typically supplied in number order by government. Therefore, with this policy, twenty percent of cars will be reduced during the rush hours and will alternatively have to take public transportation. To determine if such a scheme is effective for Kyoto City, relevant traffic data during peak and off-peak hours were gathered and analyzed.

An estimate of the total number of cars (241,959 for peak and 147,505 for off-peak) and average speed (31 km/h for peak and 40 km/h for off-peak) were obtained from five points in the Kyoto City grid. The average driving time was 31.9 minutes [1][2]. Fuel economy calculations for the peak (10.63 km/l) and off-peak (12.75 km/l) average speeds were made based on the Fuel economy guide 2012 of US Department of Energy. The fuel economy of Japanese cars is 1.5 times better than US cars [3] however, for estimating the maximum amount that we can reduce, the values of fuel economy in US were used.

Aside from the traffic data, public transportation information was also obtained for Kyoto City in order to determine the available options and CO₂ emission implications if the proposed policy were to be implemented. Assuming that there

is only one person per car, a total of 48,392 persons are displaced by the policy. For simplicity, a total shift to train or a total shift to bus transportation was assumed. From the data gathered, in order to accommodate all 48,932 persons in the train system during rush hours, train frequency must be increased to 130% of the current load. Or alternatively, the bus system will have to accommodate 250% of the current load. With this increase in loading, a corresponding increase in CO₂ emissions is estimated. The total carbon dioxide emissions during peak hours (considering only unique commuters of car, trains, and buses) in Kyoto City were computed for four cases: (1) normal case (70.5 g/passenger/km), (2) switch of all population displaced due to the policy to a zero-emissions mode of transportation (50.7g/passenger/km, 28% reduction), (3) switch to trains (54.7g/passenger/km, 26% reduction), and (4) switch to buses (52.1g/passenger/km, 23% reduction).

Although these cases offer a significant amount of CO₂ emissions reduction, it must be noted that in order to achieve this, the regulation must be accepted by the people of Kyoto City. Also, the public transportation system capacity must be prepared to support the increase in commuters during peak hours. Nonetheless, the proposed scheme already shows a significant amount of CO₂ reduction, a benefit aside from the reduced traffic congestion, which may encourage people and the Kyoto City government to implement such measures. Additionally, the future introduction of a carbon tax might encourage such schemes to be implemented.



走行車両台数制限によるCO₂排出量の削減効果
Reduction of CO₂ emission via implementation of traffic.

参考文献 / References

- [1] Nao Iwaizumi, report in 22th Japan Association for Urban Sociology, <http://www-soc.kwansei.ac.jp/otani/coe/jyouhou/1101/iwaizumirejyume.pdf>, Accesed:17/4/2012
- [2] Kyoto prefecture, <http://www.city.kyoto.jp/sogo/toukei/Population/Census/commutation.html>, Accesed:17/4/2012
- [3] Lee Schipper, Transport Policy 18 (2011) 358-372

ノー アン ティエン (ベトナム), 岩田夏弥 (日本), ズル イルハム (マレーシア), 谷木良輔 (日本), 野口悠人 (日本), 宋徳鉉 (韓国), 蔡岳聰 (台湾), 諸煥日 (韓国), 植木祥高 (日本), 伊庭野健造 (日本), ヌキ アジャヤウタマ (インドネシア)
 NGO Anh Tien (Vietnam), Natsumi IWATA (Japan), Zul ILHAM (Malaysia), Ryosuke TANIKI (Japan),
 Yuto NOGUCHI (Japan), SONG Duck-Hyun (Korea), Tsai Yueh-Tsung (Taiwan), JE Hwanll (Korea),
 Yoshitaka UEKI (Japan), Kenzo IBANO (Japan) and Nuki Agya UTAMA (Indonesia)
 大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science

現在、日本を含め世界各国はエネルギーとなる燃料の形態が大きく変化する過渡期にある。産業革命以後、エネルギー源は主に化石燃料である石炭、石油天然ガスなどであり、それらの大量消費は地球温暖化の一因である二酸化炭素を多く排出している。原子力発電の導入によって、全エネルギー源に対する化石燃料の使用の割合は減少すると予想されているが、福島原子力発電所での事故により原子力への不安が世界中へ広がったことで、化石燃料への依存が高まっていく可能性があると考えられる。以上の背景のもと化石燃料の使用を削減するには多種の代替エネルギーの導入が急務である。

本研究において日本におけるバイオマス資源開発の導入可能性を議論した。これまでバイオ燃料開発はいくつかの世代に分かれて発展してきており (Figure 1)、各世代のバイオ燃料の利点・問題について調査し、比較を行った。

第一世代は穀物から生産されるバイオエタノールやバイオディーゼルである。しかし、穀物の価格高騰を招くことが懸念され [1]、現在のところ大規模な導入に至っていない。さらに生産されている小麦やサトウキビのうち 20% をバイオエタノール製造に用いたとしても、ガソリン換算で 0.36 Mt しかならず、それは日本でのガソリン消費の 0.8%、原油輸入量の 0.2% でしかない [2]。また生産されている植物油のうち 20% をバイオディーゼルに用いても 0.3 Mt にしかならず、廃油から精製したバイオディーゼルの加えても 0.8 Mt であり、バイオディーゼル消費の 2.8%、原油輸入量の 0.4% である [3]。実際のところ 20% の穀物をバイオエネルギーに用いることは困難であるので、これらの値はさらに低い値になるであろう [1]。第二世代は lignocellulose 由来のバイオ燃料であり、農業林業用廃棄物をもとに作られている。それらは米、麦、コーンなどのわらや茎の他に山を管理する際に生じる多くの間伐材などであり、第一世代のバイオ燃料と違って価格高騰を引き起こすことがない。しかし、この技術はまだ初期段階にあり、潜在貯存量も低く (一次エネルギー供給量の 1.9%)、収集・生産のコストも高い [4-6]。そこで第三世代である藻類由来のバイオ燃料が考案された。第一世代のように価格高騰の危険がなく、また商品作物として集中的に藻を育成するので第二世代のような高い集積費用がかからない。加えて、液体状での輸送、養殖面積に対する収穫量の多さ、他の商品作物や養殖場所との競争の低さ、養殖地で淡水以外に発電所や工場からの廃水や塩水が利用できる点で第三世代のバイオ燃料は有利である。特に海に囲まれた日本は排他的経済水域 (EEZ) (Figure 2) が 447 万 km² と世界で六番目に広く、第三世代のバイオ燃料に必要な海洋資源が多く得られる素地がある。日本風力発電協会による洋上風力発電所の賦存量試算に基づき EEZ のうち 0.05% を養殖場として利用可能と仮定し、また藻類からのバイオ燃料生産効率が 137kL ha⁻¹ year⁻¹ とした時、日本の全石油消費量の 10% に相当する量のバイオ燃料が得られる [7-9]。また、これまでに日本は大きな可能性を秘めている藻由来のバイオ燃料についての技術力を高めてきている。現在すでに研究は自動車や船舶用の燃料としての利用が推進される段階まで至っており、航空機用のジェット燃料としての試験も成功している。

第一第二第三世代のバイオ燃料および関連する技術開発の特徴を考慮すれば、藻類からのバイオ燃料生産が日本において最も有力であると考えられる。第三世代のバイオ燃料は日本のエネルギー供給の安定化や産業の活性化に大きな恩恵を与えるであろう。

Recently, countries of the world including Japan are in the transition period of fuels for energy. Utilization of coal and fossil fuel (oil and natural gas) releases large amounts of carbon dioxide, linked to the global warming, and

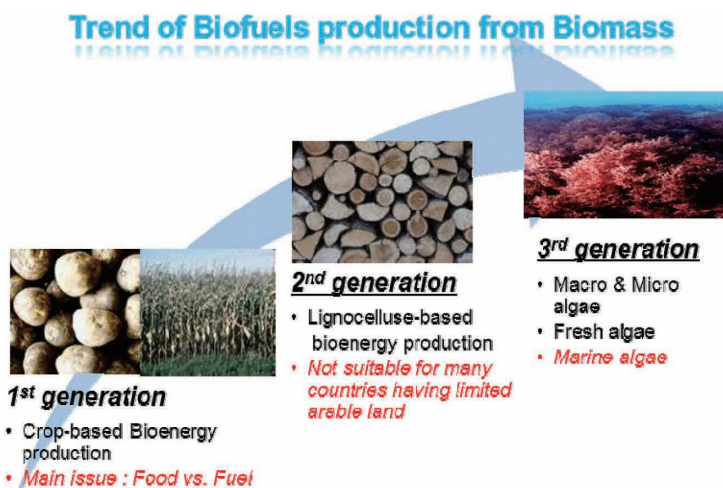


Figure 1. Trend of biofuels production from biomass.

industrial revolution, the energy sources are becoming limited due to mass consumption. More recently, the share of fossil fuel was expected to be reduced by introduction of atomic energy. However, the recent incident at the Fukushima Nuclear Power Plant may lead to higher reliance on fossil fuel. Therefore, the introduction of alternative energy from various resources is an urgent task to reduce the huge demand on fossil fuel.

In this study, we discussed the potential feasibility of utilizing biomass resources for energy in Japan. First, we surveyed and compared advantages and issues for each biofuel's production from biomass in Japan. The trends of biofuel production were divided to three generations (Figure 1).

The first generation consists of bioethanol and biodiesel from edible feedstocks such as sugarcane and corn. However, those could lead to "Fuel vs Food" issues and increasing price of those feedstocks [1]. Even if 20% of Japan's current starch and sugar crop production could be spared for biofuels, it would only yield 0.36 Mt of gasoline equivalent. Such a volume of ethanol would displace just 0.8% of Japan's current gasoline consumption and 0.2% of its crude oil imports [2]. For biodiesel, if 20% of Japan's current vegetable oil production were devoted to biofuels, it would yield less than 0.3 Mt of biodiesel. Together with the waste oil and fats, this would provide less than 0.8 Mt of biodiesel. This amount would replace just 2.8% of the economy's diesel consumption and consequently 0.4% of its crude oil imports [3]. In the second generation, biofuel is produced from lignocellulosic-based materials. These are more easily available in the form of waste from the agriculture and forest industry and would not directly affect the food price. However, technology is still in its infancy with low energy potential (1.9% of Japan's primary energy supply) and high cost for collection and production [4-6]. Therefore, biofuel derived from algae as the third generation biofuel was proposed. There is no danger of fluctuating price and it is easily collected because it could be farmed continuously in a short period of time. The total sum of Japan's territorial sea and Exclusive Economic Zone (EEZ), which is shown in Fig. 2, amounts to 4,470,000 km², ranking No.6 in the world. If 0.05% (assumption base on Japan Wind Power Association (JWPA)) of this area could be fully utilized for algae production and biofuel production efficiency is assumed as 137kL ha⁻¹ year⁻¹, it could potentially provide 10% of Japan's current oil consumption [7-9]. Therefore, it is considered to be vital for Japan to exploit these oceanic resources for third-generation biofuels.

By analyzing and comparing the characteristics of all three generations of biofuels and their technology development capability, biofuels from algae seems to be the most promising for Japan.

参考文献 / References

- [1] International Institute for Applied Systems Analysis (II-ASA), "Biofuels and Food Security-Implications of an Accelerated Biofuels Production," OFID Pamphlet Series 38 (2009)
- [2] Survey of Biomass Resource Assessments and Assessment Capabilities in APEC Economies, Energy Working Group (2008): 58-63
- [3] E. Minami, S. Saka. Biomass and Bioenergy 29 (2005) 310-320
- [4] The Relative Cost of Biomass Energy Transport, Erin Searcy (2007)
- [5] The Economics of Biomass Collection and Transportation and Its Supply to Indiana Cellulosic and Electric Utility Facilities, Sarah C. Brechbil (2011)
- [6] Algae Biodiesel: A Feasibility Report, Y. Gao et al. (2009)
- [7] T. Nagai, Japan Hydrographic Association, Quarterly Journal 99 (1996), Vol.25, No. 3
- [8] M. Watanabe, Jpn. Soc. Mechanical Engineers 113 (1996): 32-35
- [9] Long-Term Installation Goal on Wind Power Generation and Roadmap V2.1, Japan Wind Power Association (2010)



Figure 2. Japan's exclusive economic zone.

日本国内における紙文書の電気機器代替に伴う CO₂ 排出削減と省エネルギー効果に関して / Energy Saving and CO₂ Reduction by Replacing Paper with Electronic Documents in Japan

東倉翔太^a (日本), 小瀬裕男^c (日本), 能登裕之^b (日本), サミア タバサム^a (バングラディッシュ), ルアンカム ピパット^b (タイ), ポール ヒルシャー^b (ドイツ), 李 炫庸^a (韓国), ハリヨノ フボヨ^a (インドネシア), 政岡義唯^c (日本), 小暮千賀明^b (日本), 張奇^a (中国) Syota HIGASHIKURA^a (Japan), Yasuo OSE^c (Japan) Hiroyuki NOTO^b (Japan), Samia TABASSUM^a (Bangladesh), Pipat RUANKHAM^b (Thailand), Paul HILSCHER^b (Germany), Hyunyong LEE^a (Korea), Haryono HUBOYO^a (Indonesia), Yoshitada MASAOKA^c (Japan), Chikaaki KOGURE^b (Japan) and Qi ZHANG^a (China)

^a 大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science

^b エネルギー理工学研究所 / Institute of Advanced Energy

^c 大学院工学研究科 / Graduate School of Engineering

本論文では紙ベースの文書を電子文書で置き換えた場合の実行可能性の見込みについて述べる。図1に示したように、パルプおよび製紙産業はエネルギー（日本の総エネルギー消費量の約6%）を大量に消費するため、CO₂ (6.7 百万トン) を大量に放出する [1]。対象とする紙産業は、パルプ工業、製紙業（古紙を含む）と統合された紙パルプ産業で構成されている。製紙産業のエネルギー消費量に加えて、6.18 PJ/年に達する複合機や印刷のエネルギー消費量も推定した。更に紙文書の廃棄時においてある程度のCO₂が排出されると考えられる。

紙文書の電子化を実現するための具体的な案として3つの大きなカテゴリに分け、それらを表1に示す。



図1 紙ベース文書の生成プロセス

Fig.1 Production process of paper documents.

表1 紙文書の電子化

1) 電子デバイス (iPad やReader) の導入及びサービスの拡充
① インターネットサービスを用いて電子化された新聞や雑誌などをダウンロードできるようにする。
② 電車の時刻表や商業施設に関する情報を電子化し、電子デバイスにダウンロードできる設備を整える。
③ 学校の授業や掲示板に電子ディスプレイを導入し、情報は電子デバイスにダウンロードできるようにする。
④ ダウンロードサービスをより活用するためには、サーバー設備の拡充が必要である。
2) 制度及び意識改革
① 会議などにおける unnecessary レジューメを削減する。
② Eメール、書類を電子ファイルで保管する。
3) 電子認証署名の導入
クレジットカードの決済などの本人確認を電子デバイスによって行う。

紙文書の電子化における利用段階のエネルギー消費量に関して、図2に示すように、iPad (Apple Inc.) と Reader (SONY) の2つの機器を対象に推計を行った。iPad は液晶が用いられ、Reader は電子ペーパー技術が用いられた電子デバイスである。そして一般的に、電子ペーパーは液晶に比べて電力消費量が少ないことで知られている [2]。デバイスの導入ケースとして、以下の3ケース (1) 新聞雑誌購読、(2) 学校教育、(3) 業務を想定しており、それぞれのケースにおいて、利用者人口と年間利用時間 (表2)、機器効率 (図2) を乗ずることで、年間エネルギー消費量や二酸化炭素排出量を算出した。そして各ケースにおける結果は (1) 新聞雑誌購読 (iPad:64.1 GWh, Reader:6.41 GWh)、(2) 学校教育 (iPad:30.38 GWh, Reader:3.04 GWh)、(3) 業務 (iPad:101.8 GWh, Reader:10.18 GWh)、と推計された。

Name of commodity	Apple Inc. iPad : 16GB (Liquid crystal)	SONY Reader 6V : 2GB (Electric paper)
Devices		
Energy consumption ratio (In use [W])	10 (2.5W)	1 (0.25W)
Value(Yen)	44800 Yen	24800 Yen

図2 電子文書用機器 (iPadとReader(SONY))

Fig.2 Electric document devices (iPad and Reader(SONY))[3][4].

表2 導入ケース別人口と年間利用時間の想定[5][6][7]

Table 2 Assumption of population and operating time by each cases[5][6][7].

Case	Population		Average operating time / year / person [h]	
Introduction case 1 (Newspapers and magazines)	Population aged between 15 and 69 years old	89879000	285.4	
Introduction case 2 (Schooling)	Elementary school	1	1111000	716.3
		2	1145000	761.3
		3	1160000	787.5
		4	1180000	813.8
		5	1179000	802.5
		6	1193000	802.5
	Junior high school	1	1188000	933.3
		2	1183000	933.3
		3	1206000	933.3
	High school	1	1208000	933.3
		2	1190000	933.3
		3	1212000	933.3
Introduction case 3(Service)	Service sector	39,040,000	1042.9	

表3と表4に、算出されたエネルギー消費量に基づいた印刷紙および電子文書（iPad及びReader）に対するコスト評価結果を示す。ここで、印刷紙および電子文書の単価は、各々、3,010円/GJおよび14.5円/kWhを想定した[8]。結果として、国内で電子文書化を導入することにより、年間コストの削減は導入費用を除くと、約1兆円になることがわかった。

表3 紙文書印刷のコスト推定

Table 3 Result of cost estimation for printing paper.

Cases	Paper Consumption* (Mt/year)	Energy Consumption (kJ/page)	Energy Consumption (GJ/year)	Cost [billion Yen/year]
1. Newsprint	3.349	138	92,422,712	278
2. Printing & Communication	9.547	138	263,498,442	793

表4 電子文書導入シナリオのコスト推定

Table 4 Results of cost estimation for electric document.

Cases	Population	Initial cost (billion/Yen)	Energy Consumption (GWh/year)	Cost [billion Yen/year]
1. Newspapers and magazines	89,879,000	4,027(iPad)	64.14(iPad)	0.93(iPad)
		2,228(Reader)	6.41(Reader)	0.09(Reader)
2. Introduction for schooling	14,155,000	634(iPad)	30.38(iPad)	0.44(iPad)
		351(Reader)	3.04(Reader)	0.04(Reader)
3. Introduction for service	39,040,000	1,749(iPad)	101.8(iPad)	1.48(iPad)
		968(Reader)	10.18(Reader)	0.15(Reader)

電子書籍の消費電力は2.5W（iPad）や0.25W（Reader）と小さい（図2）。また、紙産業のエネルギー消費量は日本全体の6%であり、これは文書の電子化で削減できる。また、紙産業における空気や水の汚染を軽減できるため、資源環境保全の効果も高めると考えられる。更に、パルプ産業、紙産業からの6.7MtのCO₂を削減しうる。他に様々な利点として、使い勝手良く、世界中に素早く伝達でき、オフィスや学校の能率を高め、さらにスペース（1GB = 500,000 ページ又は1000冊の厚い本）を削減し、検索を容易にし、時間を節約し、文書管理のセキュリティを改善するなどを挙げられる。

電子文書を活用することで、システムのコストを40%削減しうる。

電子文書はユーザーに優しく、環境に良い効果を示しうる。これらの利点により、特にエネルギー消費やCO₂削減の観点から、紙文書から電子文書への代替における便益は日本国内に対して大きく、また多岐にわたると考えられる。

In this paper, we introduce a simple feasibility estimation of greenhouse gas and energy reduction if paper-based documents were replaced by electronic documents. As shown in Fig.1, the pulp and paper industries consume a lot of energy (about 6% of total energy consumption in Japan) and therefore they emit a large amount of CO₂ (6.7 Mt)[1]. The industries of interest consist of the pulp industry, paper making industry (including recovered paper) and integrated pulp and paper industry. In addition to energy consumption of paper making industries, we also estimated the energy consumption of multifunction devices and printing which totaled around 6.18 PJ/year (about 0.1% of total energy consumption in Japan). Waste from paper-based documents is also generated at the consumer side. Therefore, the use of electronic documents is expected to replace the use of paper-based system to reduce the energy consumption and CO₂ emission.

The methods of electronic documents penetration are shown in Table 1.

Table 1. Methods of electronic documents' penetration.

1) Introduction of the electronic devices (iPad, Reader) & Service improvement
① To change from the paper service to the internet service for newspapers and magazines.
② To install the free download server in the station about timetable, route map and information. We can download to own electronic device (ex. iPad) and browse the information although we did not take leaflets.
③ To introduce the electronic display to the class and the bulletin in Schools.
④ To improve large computer servers in order to make the most use of the download service.
2) Institutional reform & mentality change
① To eliminate unnecessary handouts in meetings.
② To avoid printing e-mails unless absolutely necessary.
3) Introduction of the electronic signature
To use an electronic signature whenever possible, i. e. payment by credit card.

Concerning the energy consumption of electric devices, we set the case of selected 'iPad' and 'Reader' as an alternative for paper-based documents as shown in Fig.2. An iPad is a device using a liquid crystal display. A Reader is a device using electronic paper. In general, electronic paper is known to have smaller power consumption compared to liquid crystal displays [2].

Energy consumptions in each case are estimated by multiplying the number of users, utility time (Table 2) and efficiency of devices (Fig.2). And we estimated the following cases: (1) Newspapers and magazines (iPad:64.1 GWh, Reader:6.41 GWh), (2) Introduction for schooling (iPad:30.38 GWh, Reader:3.04 GWh), (3) Introduction for services (iPad:101.8 GWh, Reader:10.18 GWh).

Table 3 and Table 4 show the results of cost estimation based on the energy consumption obtained from the scenarios mentioned above for both printing paper and electric documents with iPads and Readers. Here, the unit cost of printing paper and electric documents were assumed to be 3,010 [Yen/GJ][8] and 14.5 [Yen/kWh][8], respectively. As a result, it was found that the reduction of annual cost apart from the initial cost of the electric devices is about 1,000 billion yen by the replacement of paper using electric documents in Japan.

Power consumption of electronic devices is low - in the range of 0.25W - 2.5W (Fig.2). The paper industry's energy consumption is 6% of total energy consumption in Japan which can be reduced by using electrical document. Moreover 6.7 Mt CO₂ which is emitted from the pulp and paper industries (around 500 Mt CO₂ emitted from total electricity generation in Japan[1]) is expected to be reduced somewhat. The case of electronic devices has several other advantages like easy handling and quick spreading to all over the world, it may improve office/school efficiency, free up office or school space for more valuable use [1 gigabyte = 500,000 pages or 1,000 thick books], it is easy to search which can save time, improve document security (Digital signature and different document control method) etc. By using electronic document cost savings could be 40% for an office or business system.

Electronic documents can be user friendly and show good effect on the environment. Due to these several advantages, especially energy consumption and CO₂ reduction, replacement of paper documents by electronic documents would be expected to provide benefits to society and the environment.

参考文献 / References

- [1] “CO₂emissions from electricity generation in seven Asia-Pacific and North American countries: A decomposition analysis” Energy Policy, Volume 37, Issue 1, January 2009, Pages 1-9.
- [2] http://www.toppan.co.jp/products_service/denshi_paper/index.html
- [3] <http://www.apple.com/jp/ipad/specs/>
- [4] <http://www.sony.jp/reader/products/PRS-650/spec.html>
- [5] Ministry of Internal Affairs and Communications (2012). *Labor force survey*.
- [6] Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (2012). *School curriculum guideline*
- [7] Institute of Media Environment (2009). http://www.media-kankyo.jp/news/media/20090623_1597.html (accessed Jan 13th)
- [8] Statistics, Japan Paper Association (2012). <http://www.jpa.gr.jp/en/stats/> (accessed Jan 27th)

2012年5月15日発行

京都大学グローバルCOEプログラム「地球温暖化時代のエネルギー科学拠点」ニューズレター

発行人：八尾 健（拠点リーダー、京都大学大学院エネルギー科学研究科）

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院エネルギー科学研究科グローバルCOE事務局

TEL: 075-753-3307 / FAX: 075-753-9176 / E-mail: gcoe-office@energy.kyoto-u.ac.jp

<http://www.energy.kyoto-u.ac.jp/gcoe/>

Issued on May 15, 2012

News Letter of Kyoto University Global COE Program, “Energy Science in the Age of Global Warming”

Editor: Prof. Dr. Takeshi Yao (Program Leader)

Yoshida Honmachi, Sakyo-Ku, Kyoto 606-8501, Japan

大学院エネルギー科学研究科 / Graduate School of Energy Science

<http://www.energy.kyoto-u.ac.jp/>

エネルギー理工学研究所 / Institute of Advanced Energy

<http://www.iae.kyoto-u.ac.jp/>

大学院工学研究科原子核工学専攻 / Department of Nuclear Engineering

<http://www.nucleng.kyoto-u.ac.jp/>

原子炉実験所 / Research Reactor Institute

<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/>