平成 30 年

岐阜大学　研究推進・社会連携機構

地方創生エネルギーシステム研究センター

Gifu Renewable Energy System Research Center

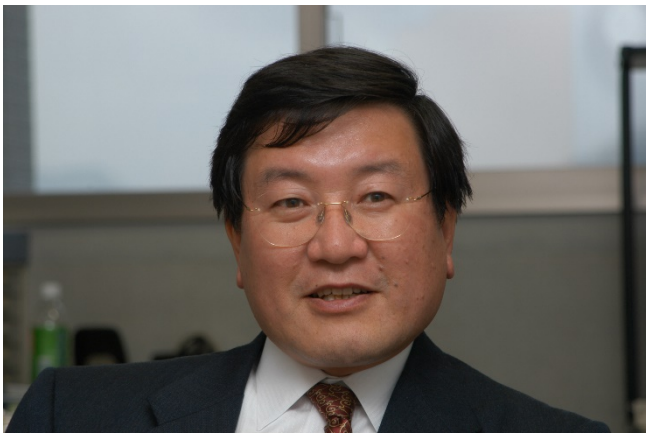
国立大学法人
岐阜大学
GIFU UNIVERSITY

学長挨拶

平成 30 年、岐阜大学に研究推進・社会連携機構直属のセンターとして地方創生エネルギーシステム研究センターが開所しました。私ども岐阜大学は伝統的にエネルギー研究、とくに太陽光発電が強みであり、平成 27 年には次世代エネルギー研究センターを創設し、特に環境問題、エネルギー自給率というキーワードで活発な研究を推進してきました。およそ 3 年という短い期間に顕著な研究成果を上げ、当初から到達目標としてきた地域実装試験への移行がいよいよ始まったことを受け、新しい研究フェーズに発展的対応を行うセンターとして今回の誕生となったわけです。

センター名はまず社会的使命を明示する目的で、「地域創生」を謳っています。すなわち「再生可能エネルギー」の地産地消による、地域の「エネルギー自立」です。さらに地域ごとにそれぞれの特徴に合わせて「エネルギーシステム」を提案し、社会実装試験を遂行、アウトプット・データに合わせてシステムを調整、完成させるという PDCA サイクルを明示した研究が行われます。パイロット地域として県下八百津町におけるモデル研究が既に進行中ですが、岐阜県は都市型から僻地型までバラエティに富んだ諸地域に恵まれ、様々な提案・試験が可能です。本「地方創生エネルギーシステム研究センター」の成果が、各地域のエネルギー自立のみでなく、総体として「地球環境問題」に関するアンサーへと展開していくことをご期待頂きたいと思います。

2018 年 6 月 6 日



岐阜大学長
森脇　久隆

センター長 挨拶

「地方創生エネルギーシステム研究センター」センター長を仰せつかりました板谷です．宜しくお願い申し上げます．本センターは，2017 年度までの次世代エネルギー研究センターを改編して，再生可能エネルギーをベースとして地域に最適化された持続可能な環境調和型エネルギーシステムであるぎふモデルの構築を目指した研究センターとして，2018 年 4 月に岐阜大学研究推進・社会連携機構に設置されました．

本センターの前身である次世代エネルギー研究センター設立の年（2015 年）には，12 月にフランス・パリで開催された COP21（気候変動枠組条約第 21 回締約国会議）で，今世紀後半に温室効果ガスの実質排出ゼロを達成して，地球平均気温上昇を産業革命前比で 1.5℃未満に抑制する「パリ協定」が採択されました．また本センター設置のタイミングでは，偶然にも開所式を開催した翌日（2018 年 7 月 3 日）に，第 5 次エネルギー基本計画が閣議決定されました．本学のエネルギー関連の研究センターの節目ごとに，国内外で大きなエネルギー政策の方針が示され，何らかの因縁を感じざるを得ません．

パリ協定以降，新たな枠組みの批准・発効，協定の目標達成に向けた議論が進められてきていますが，最近では世界各国の利害が顕在化して，先行きがやや不透明になってきています．しかし我が国にとっては，京都議定書の際と同様に不利な状況の中で，さらに厳しい削減目標値の達成を求められることは論を待たないと言えるでしょう．このような動向の中で閣議決定された今回の基本計画では，温室効果ガス削減に向けてエネルギーミックスの確実な実現を図るためのひとつの施策として，再生可能エネルギーを主力電源化することが盛り込まれています．これを実現するためには，再生可能エネルギーを中心とする持続可能なエネルギーシステムの構築が求められます．

本センターでは，再生可能エネルギー利用による CO2 フリーエネルギーを「つくる」（エネルギー創造），「ためる」（エネルギーキャリア・ストレージ），「はこぶ」（エネルギーシステム統合），「つかう」（新産業創出）の革新的コア技術を基盤に，岐阜県次世代エネルギービジョンの目標達成に向けて，わが国初の取り組みとなる「中山間地域での地産地消型地域エネルギーシステム」（地方創生のぎふモデル）を産官学連携して社会実装を図ることをミッションとしています．このようなぎふモデルを実現するために，再生可能エネルギー利用の革新的コア技術の要素課題を個別にブレークスルーするだけでなく，ICT/IoT/AI を活用して多様な再生可能エネルギーの生産・貯留・流通・消費を最適化するエネルギーシステム統合技術を確立し，地域エネルギー産業に貢献する研究センターを目指したいと考えています．皆様のご支援をお願いします．

研究推進・社会連携機構
地方創生エネルギーシステム研究センター
センター長　　板谷　義紀

副センター長 挨拶

2018 年 4 月に岐阜大学研究推進・社会連携機構に設置されました「地方創生エネルギーシステム研究センター」の副センター長を仰せつかりました上宮成之（うえみやしげゆき）と申します．宜しくお願い申し上げます．センターでは，エネルギーを「ためる」（エネルギーキャリア・ストレージ）分野を主として担当いたします．

さて地方創生とは，地方において安定な雇用を創出し，人口減少に歯止めをかけ，地方から活性化を図る政策です．安定な雇用創出には新産業の創出が不可欠であり，それには安価で安定したエネルギー供給が必要と言えます．岐阜県は，人口に比して広大な面積があるため，太陽光，バイオマス，小水力，地熱，風力など再生可能エネルギーの賦存量は高いことが特長です．再生可能エネルギーは，2018 年 7 月に閣議決定されました第 5 次エネルギー基本計画において主力電源化を目指すことが記されており，社会実装に向けて研究開発をますます加速していかなくてはなりません。再生可能エネルギーの社会実装に向けた要素技術を研究開発していくとともに，天候や季節によって変動する再生可能エネルギーの貯槽・輸送技術の研究開発，さらには情報技術を用いてエネルギー生産・貯留・流通・消費について最適化する技術を確立しなくてはなりません．「地方創生エネルギーシステム研究センター」は岐阜県中山間地域を対象として，再生可能エネルギーを最大限活用したエネルギーシステムの構築を目指すとともに，他の地域でも応用可能で，それぞれの地域の特徴を活かしたエネルギーシステムの構築のための手法を提案していきたいと考えております．

主として担当するエネルギーキャリア・ストレージ分野では，再生可能エネルギーを変換して得た電力を安定して供給するために，蓄電池の活用を図るのみならず，水素や水素を含有するエネルギーキャリアなど化学エネルギーとして貯槽するために高効率で変換することを検討して参ります．そのためには，水電解－燃料電池をはじめとする化学エネルギー貯留技術への天候による変動の影響を調査するとともに，電力安定化のために地域外から輸送してきた再生可能エネルギー由来の水素キャリアからの水素回収技術，さらには水素の電力への再変換技術などについても検討して参ります．

岐阜県次世代エネルギービジョンの実現に向けて，微力ではありますが貢献していきたいと考えております．皆様のご指導，ご支援のほどよろしくお願いいたします．

研究推進・社会連携機構
地方創生エネルギーシステム研究センター
副センター長　　上宮　成之

今年 2018 年、岐阜大学に新たな研究センターとして「地方創生エネルギーシステム研究センター」が立ち上がりました。このセンターの副センター長を仰せつかりました小林です．新残業創出分野とエネルギー創造分野を担当させて頂きます．

2011 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災の衝撃を皆様覚えていますでしょうか．1000 年に一度と言われる震災が私達の世代で起きた現実に，多くの人が衝撃を受けました．この震災で色々なものが大きく変わりました．大規模な自然災害に対する備えについて大きな議論が起こり，災害対策は行政依存から市民参加型へ変わりました．またエネルギー，特に再生可能エネルギーに対する意識・取り組みも大きく変わりました．それまでは地球温暖化対策として政府主導で再生可能エネルギーの導入が行われていました．しかし震災後には，安全でもある点，震災時にも自立の電源となる点が広く認識され，この再生可能エネルギー特に太陽光発電の導入が一気に増加しました．自律分散型エネルギーネットワークの議論も活発になりました．そして震災のあった 2011 年からわずか 2 年で水力発電を除く再生可能エネルギーの発電量は倍増しました．

このように順調に再生可能エネルギーが普及する中，2014 年にいわゆる「九電ショック」が起こりました．再生可能エネルギー，とくに太陽光発電の普及が進みこれらの発電量が急増したため，九州電力が電力の需給バランスが崩れるとして，太陽光発電電力の系統への接続契約を一時保留したのです．

太陽光発電や風力発電などは温暖化ガスである二酸化炭素を排出しない発電システムではありますが，発電量が天候等に左右されるという大きな欠点があります．この問題を克服し，太陽光発電などをより普及させる技術の一つとして，私達は太陽光発電などの発電量予測技術の開発を進めています．この発電量予測を通して，電力系統を戦略的に管理し，再生可能エネルギーの普及と発電システムのベストミックスに貢献していきたいと思っております．

研究推進・社会連携機構
地方創生エネルギーシステム研究センター
副センター長　　小林　智尚

地域創生エネルギーシステム研究センター副センター長を仰せつかりました船曳です。よろしくお願い申し上げます。私の担当する研究分野は，エネルギー創造分野，有機系太陽電池の研究開発グループで色素増感型太陽電池を主とした有機化合物を用いたエネルギー変換技術の研究開発です。

2011 年 3 月 11 日に起きた東日本大震災により、エネルギー，特に再生可能エネルギーに対する意識・取り組みが大きく変わり，シリコンを用いた太陽電池が導入量が増え，その他の再生エネルギーへの関心が高まりました。しかし，今後も人類が持続的に発展するためには，最小限の資源やエネルギーを用いて，既存の性能を超えた物質の創製，質の良いエネルギーの創製，貯蔵，循環を可能にする新しい先端科学技術の開拓が必要不可欠です。

我々は、この目的を達成するために必要な「画期的」な有機分子や有機・無機ハイブリッド材料などを開発していきたいと考えております。今すぐに使える新技術とはいかないかもしれませんが、10 年後、20 年後も日本が持続的に発展できる、特に、エネルギー政策に貢献できるようなオンリーワンの「化学」技術を開発する研究者の集まりとして、鋭意研究を進めていきたいと思います。皆様、ご支援のほど、何卒、宜しくお願いいたします。

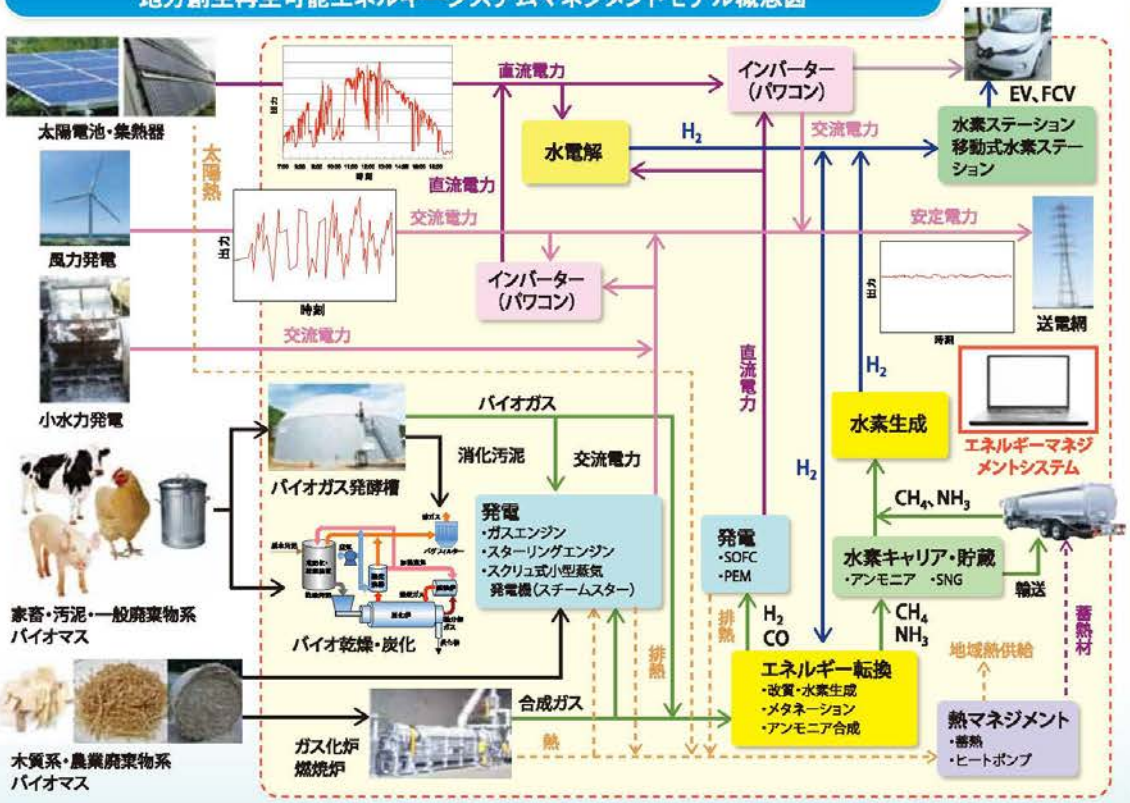
研究推進・社会連携機構
地方創生エネルギーシステム研究センター
副センター長　　船曳　一正

地方創生エネルギーシステム研究センターは

再生可能エネルギー利用によるCO_2フリー水素エネルギーを「つくる」、「ためる」、「はこぶ」、「つかう」革新的コア技術を基盤に、岐阜県次世代エネルギービジョンの目標達成に向けて、わが国初の取り組みとなる「中山間地域での地産地消型地域エネルギーシステム」（地方創生のぎふモデル）を産官学連携して社会実装を図ります。このぎふモデルを実現するために、再生可能エネルギー利用の革新的コア技術の要素課題を個別にブレークスルーするだけでなく、ICT/IoT/AIを活用してエネルギーの生産・貯留・流通・消費を最適化するエネルギーシムテム統合技術の確立を目指します。

つくる エネルギー創造分野	ためる キャリア・ストレージ分野	つかう 新産業創出分野	はこぶ エネルギーシステム統合分野

地方創生再生可能エネルギーシステムマネジメントモデル概念図



- **エネルギー創造分野：** 多様な再生可能エネルギーから高効率発電・熱発生の革新的要素技術の開発（太陽光、太陽熱、風力、小水力、各種バイオマス）
  - ①無機・有機系太陽電池の高効率化
  - ②太陽電池用新規材料およびその分析・評価
  - ③小型風力発電・小水力発電の高効率化
  - ④気象予測モデル構築
  - ⑤バイオマス発電および大気環境保全
  - ⑥高効率バイオマスガス転換・乾燥技術
  - ⑦高効率小型熱駆動発電・ヒートポンプ技術
- **キャリア・ストレージ分野：** 余剰エネルギーまたは変動エネルギーの化学エネルギー（アンモニア、メタン等）転換、蓄熱（化学蓄熱剤）の革新的技術
  - ①再生可能エネルギーから水素への高効率転換（Power to Gas）技術
  - ②水素や水素キャリアの製造、分離、精製技術
  - ③高効率熱利用と大容量蓄熱技術
  - ④蓄エネルギーの安全性評価
- **新産業創出分野：** 地方創生エネルギービジネスモデルの提案、フィールド実証試験に向けたシステム基本設計
  - ①再生可能エネルギーや水素キャリア利用の水素製造装置と発電システム
  - ②地域エネルギーシステムのビジネスモデルに関する調査・研究開発
- **エネルギーシステム統合分野：** 地域性に応じた最適エネルギーシステム予測およびそのマネジメントツールの構築
  - ①CT/IoT/AI利用のエネルギーマネジメントシステム
  - ②再生可能エネルギー発電量予測の統合制御
  - ③変動電力の安定化に向けたマネジメント
  - ④水素の安全システム・評価

地方創生エネルギーシステム研究センター

センター長	板谷　義紀	
副センター長	上宮　成之	キャリア・ストレージ分野長兼任
副センター長	小林　智尚	新産業創出分野長兼任
副センター長	船曳　一正	エネルギー創造分野長兼任

センター構成教員一覧

・エネルギー創造分野

船曳　一正	工学部化学・生命工学科物質化学コース	分野長・教授
板谷　義紀	工学部機械工学科機械コース	教授
伊藤　貴司	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授
井上　吉弘	工学部機械工学科機械コース	准教授
今尾　茂樹	工学部機械工学科機械コース	教授
上宮　成之	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
近江　靖則	工学部化学・生命工学科物質化学コース	准教授
大西　健夫	応用生物科学部生産環境科学課程環境生態科学コース	准教授
大矢　豊	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
柏倉　伸男	工学部電気電子・情報工学科応用物理コース	准教授
神原　信志	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
菊地　聡	工学部機械工学科機械コース	准教授
木村　宏	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授
窪田　裕大	工学部化学・生命工学科物質化学コース	助教
隈部　和弘	工学部化学・生命工学科物質化学コース	助教
久米　徹二	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授
小林　智尚	工学部社会基盤工学科環境コース	教授
小林　信介	工学部機械工学科機械コース	准教授
小林　芳成	工学部機械工学科機械コース	助教
小宮山　正治	工学部機械工学科機械コース	教授
芝原　文利	工学部化学・生命工学科生命化学コース	准教授
須網　暁	工学部機械工学科機械コース	助教
杉浦　隆	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
千家　正照	応用生物科学部生産環境科学課程環境生態科学コース	教授
高橋　周平	工学部機械工学科機械コース	教授
武野　明義	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
玉川　一郎	流域圏科学研究センター	教授

西村　眞一	応用生物科学部生産環境科学課程環境生態科学コース	教授
伴　　隆幸	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
平松　　研	応用生物科学部生産環境科学課程環境生態科学コース	教授
藤原　裕之	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授
萬関　一広	工学部化学・生命工学科物質化学コース	助教
宮地　秀和	工学部化学・生命工学科生命化学コース	准教授
宮本　　学	工学部化学・生命工学科物質化学コース	准教授
吉野　　純	工学部社会基盤工学科環境コース	准教授
李　　根燮	工学部機械工学科機械コース	助教

・キャリア・ストレージ分野

上宮　成之	工学部化学・生命工学科物質化学コース	分野長・教授
朝原　　誠	工学部機械工学科知能機械コース	助教
板谷　義紀	工学部機械工学科機械コース	教授
宇田川 太郎	工学部化学・生命工学科物質化学コース	助教
近江　靖則	工学部化学・生命工学科物質化学コース	准教授
神原　信志	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
小林　信介	工学部機械工学科機械コース	准教授
小村　賢一	工学部化学・生命工学科物質化学コース	准教授
杉浦　　隆	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
早川　幸男	工学部化学・生命工学科物質化学コース	助教
萬関　一広	工学部化学・生命工学科物質化学コース	助教
宮本　　学	工学部化学・生命工学科物質化学コース	准教授
吉田　弘樹	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授

・新産業創出分野

小林　智尚	工学部社会基盤工学科環境コース	分野長・教授
板谷　義紀	工学部機械工学科機械コース	教授
上宮　成之	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
應　　江黔	地域科学部市域政策学科地域環境講座	教授
王　　道洪	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授
大橋　史隆	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	助教
神原　信志	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
小林　信介	工学部機械工学科機械コース	准教授
嶋　　睦宏	工学部化学・生命工学科物質化学コース	教授
高木　伸之	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授

西 田　　哲	工学部機械工学科機械コース	准教授
蜷 川　忠 三	工学部スマートグリッド電力制御工学共同研究講座	特任教授
山 田　啓 介	工学部化学・生命工学科物質化学コース	助教
尹　　己 烈	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	准教授
吉 田　憲 充	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	准教授
山 家　光 男	工学部	フェロー

・エネルギーシステム統合分野

朝 原　　誠	工学部機械工学科知能機械コース	助教
石 川　裕 記	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	准教授
王　　道 洪	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授
亀 山　展 和	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	特任教授
傍 島　　靖	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	准教授
高 木　伸 之	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授
高 野　浩 貴	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	准教授
蜷 川　忠 三	工学部スマートグリッド電力制御工学共同研究講座	教授
深 井　英 和	工学部電気電子・情報工学科情報コース	助教
宮 坂　武 志	工学部機械工学科知能機械コース	教授
吉 田　弘 樹	工学部電気電子・情報工学科電気電子コース	教授

＜エネルギー創造分野＞

氏名： 船曳　一正 （エネルギー創造分野）

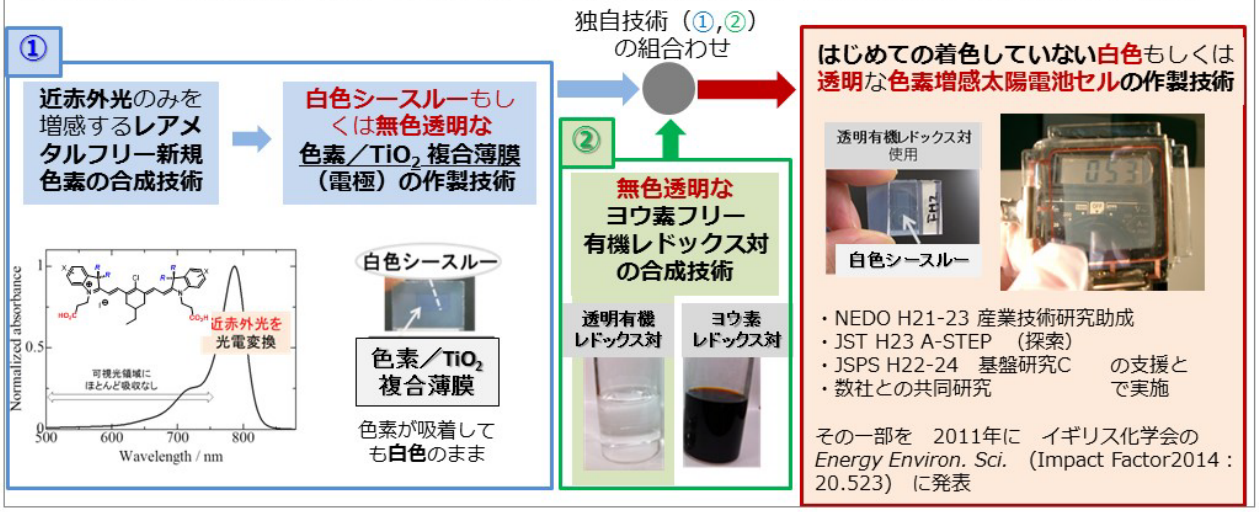
研究概要：

研究内容　**白色シースルー色素増感太陽電池セルの開発**

（研究代表者）船曳一正　（研究分担者）松居正樹、窪田裕大

色素増感型の太陽電池は、
　製造コストや製造への投入エネルギーが少ないため、従来の高純度、高品質な無機材料を用いる太陽電池に比べて、低炭素化社会での将来の国産エネルギーとして期待。現在は、可視光 (400 nm～760 nm付近) 吸収色素を用いた色素増感太陽電池の研究開発と産業化への展開が盛ん。しかしながら、現在の可視光のみを活用する方法では、限界があり、革新的な部材開発が必須。

　本研究では、**独自の技術（①,②）を組合わせて**、初めての**着色していない白色**もしくは**透明**な**色素増感太陽電池セル**を開発した。この太陽電池セルは、可視光を透過し、**従来未使用であった近赤外光を電気に変える太陽電池**である。



研究目標　**白色シースルー色素増感太陽電池セルの開発**

（研究代表者）船曳一正　（研究分担者）松居正樹、窪田裕大

①これまでにない外観の太陽電池

- **プラスチックフィルム**使用可

フレキシブル、超薄型
白色シースルー太陽電池シート

- **薄い**膜厚

無色透明
太陽電池シート

- 裏に**反射板**

白色太陽電池

②可視光太陽電池シート・赤外光太陽電池シートをタンデム化することで、光電変換効率を達成

- トップレベルの発電効率を有する**可視光吸収有機色素の開発にも成功。**

研究の問題点

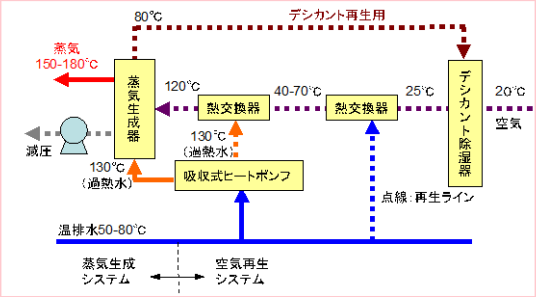
- 低い発電効率を向上させるため各部材（色素、ヨウ素フリー透明レドックス対など）の高性能化
- 低コスト太陽電池セル製造の歩留まり向上
- キャパシタ・二次電池などの蓄電デバイスとの複合化・融合一体化（パッケージ化）による電力の平準化　など

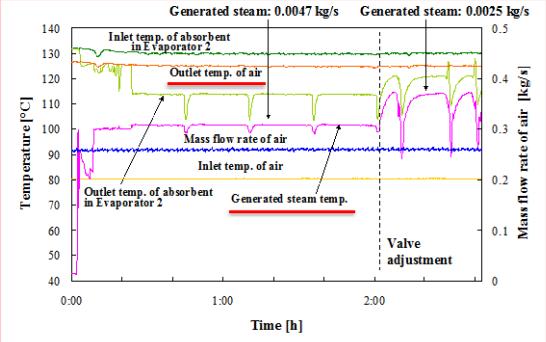
氏名： 板谷 義紀 （エネルギー創造分野・キャリア・ストレージ分野・新産業創出分野）

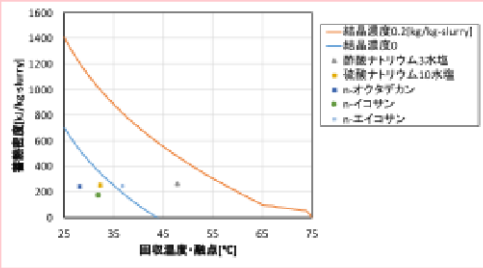
研究概要： 多岐にわたる熱プロセスの省エネルギー化・高度熱制御技術開発を目的として，1）未利用温排熱回収型高温および冷熱生成する蓄熱型吸収式ヒートポンプの高効率化，2）高温熱処理プロセスの輻射温度計測高精度化のための輻射物性計測，3）熱的に達成困難なマイクロ波非平衡プラズマを利用した蓄エネルギー・キャリアなどの環境エネルギープロセスに関する基礎研究．また，4）再生可能エネルギー有効利用技術として未利用バイオマスのエネルギーアップグレードに関する研究．

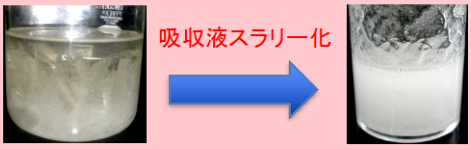
排熱回収蓄熱型吸収式ヒートポンプの高効率化

- 80℃レベルの温排熱から120℃以上の熱風，蒸気，10℃以下の冷熱生成するLiBr/水系吸収式ヒートポンプ
- LiBr微細結晶スラリー製造技術とスラリーを蓄熱剤に活用する蓄熱式ヒートポンプ
- 太陽熱及び排熱回収型地域エネルギー供給システム



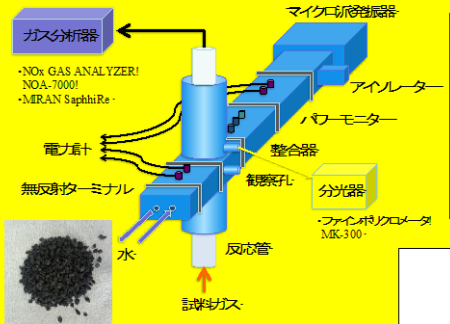


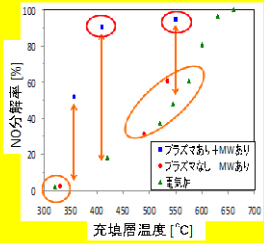




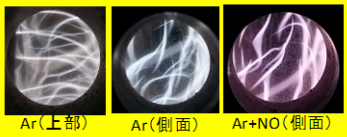
マイクロ波非平衡大気圧プラズマによる環境エネルギープロセス

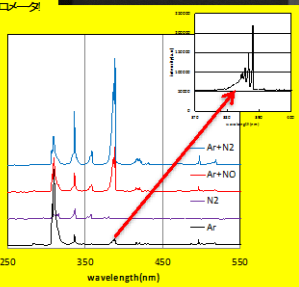
- 活性コークスプロモータによる低出力大気圧プラズマ生成
- 難分解性物質の低温分解・機能性カーボンナノ材料合成
- 無触媒低温蓄エネルギー・キャリア合成
- プラズマ反応機構の分光学的ダイナミック計測



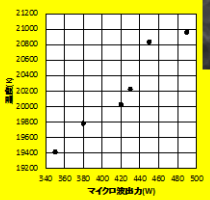


NO分解試験





プラズマ温度計測

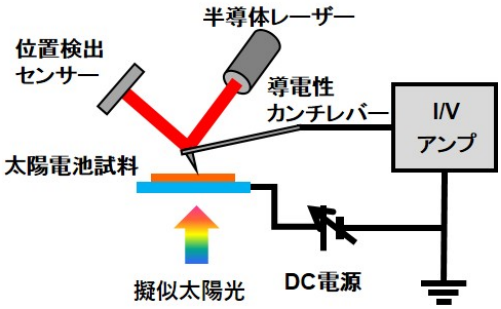


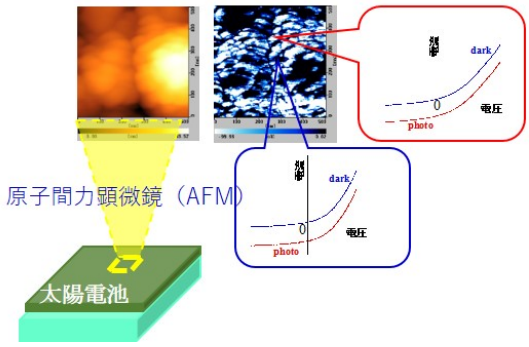
氏名： 伊藤 貴司 （エネルギー創造分野）

研究概要：

「太陽電池評価技術の開発とそれを用いた各種太陽電池の評価」に関する研究・開発を進めている。その一つが「局所的太陽電池評価技術“光起電力顕微鏡”の開発」である。

化合物薄膜太陽電池などでは、構造が不均一な微結晶や多結晶がその光吸収層、ドープ層に用いられている。このような材料を用いた太陽電池では、構造不均一性が巨視的な接合特性や発電特性に影響を与え、高効率化を阻む要因となっている可能性がある。このような構造不均一性の影響を明らかにするためには、局所的な評価が必要となる。しかし、これまでの太陽電池の特性評価は主に巨視的評価であるため、局所的な特性評価技術が必要となる。近年、走査型プローブ顕微鏡（SPM）技術の開発が進められ、表面形状像と電流像の同時測定や局所的電流－電圧（I-V）特性の測定が可能な導電性原子間力顕微鏡（C-AFM）や形状像と表面電位像の同時測定が可能な所的なケルビンフォース顕微鏡（KFM）など、多くの測定モードで多様な物理量の局所的評価が可能になってきている。そこで本研究室では、導電性原子間力顕微鏡（C-AFM）を基盤技術として用い、巨視的評価と同様な評価を、局所的な領域で行える評価技術“光起電力顕微鏡”の開発を行っている。また、ケルビンフォース顕微鏡（KFM）を用いた局所的内蔵電位の評価技術など、新たな太陽電池の局所的特性評価技術の開発も進め、“光起電力顕微鏡”の機能拡大も行っている。





そのほかにも、「太陽電池構造で評価可能な光吸収層の欠陥評価技術の開発」を行っている。$Cu(In,Ga)Se_2$（CIGS）などの化合物薄膜太陽電池は、低コスト高効率太陽電池として期待される薄膜太陽電池である。光吸収層中形成される、バンドギャップ内の欠陥準位は、変換効率などその発電特性を低下させる要因となるため、高効率化には光吸収層の欠陥密度低減が必要となる。そのためには、光吸収層の欠陥評価が重要となる。CIGS 太陽電池は、20%程度の変換効率が得られているのに対し、$Cu_2(ZnSn(S,Se)_4$（CZTS）太陽電池などの変換効率は 10%程度もしくはそれ以下と低い。これは、光吸収層中の欠陥密度が高いこと原因である可能性が考えられる。しかし、太陽電池構造のまま光吸収層中に掲載された、バンドギャップ内の欠陥準位評価はほとんど行われていない。バンドギャップ内の欠陥準を評価する方法の一つに、光吸収を用いる方法がある。そこで、本研究では、光吸収層内の欠陥準位の評価を目指し、太陽電池構造のままで光吸収層の光吸収評価を可能とする、光吸収によって発生する光電流から光吸収係数を算出するフーリエ変換光電流（FTPS）法を用いた評価技術の開発を行っている。

以上のような評価技術の開発とそれを用いた太陽電池の評価により、高効率太陽電池の実現に貢献することを目指している。

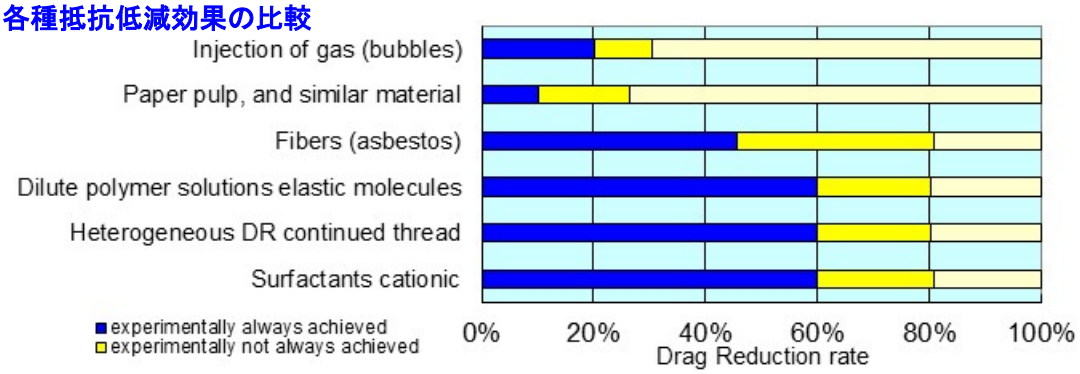
氏名： 今尾　茂樹 （エネルギー創造分野）

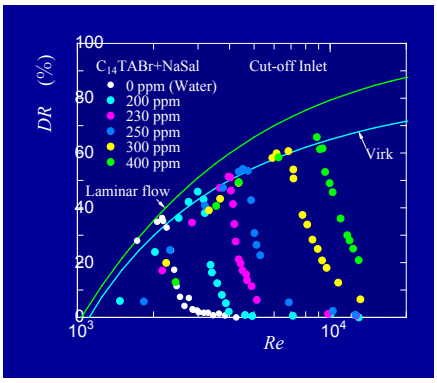
研究概要：

【添加剤による流動抵抗低減技術】

水に界面活性剤や高分子を微量添加すると，流動摩擦抵抗が著しく減少しエネルギー損失を減少させることができます．植物を含む様々な添加剤を調べ，このメカニズムの解明とその応用を研究しています．→ **省エネ**

各種抵抗低減効果の比較





DR：抵抗低減率　＝（λs－λw）/ λw　（%）

界面活性剤添加による流動抵抗の低減率（左図）

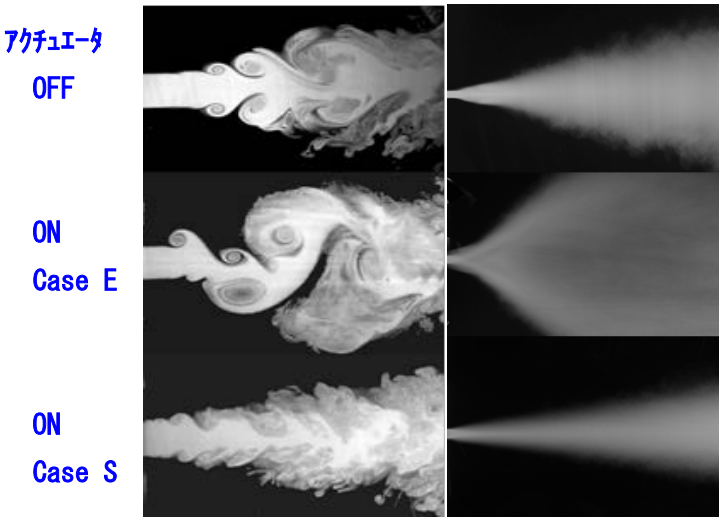
わずかな量の添加で流動抵抗は半分以下に！

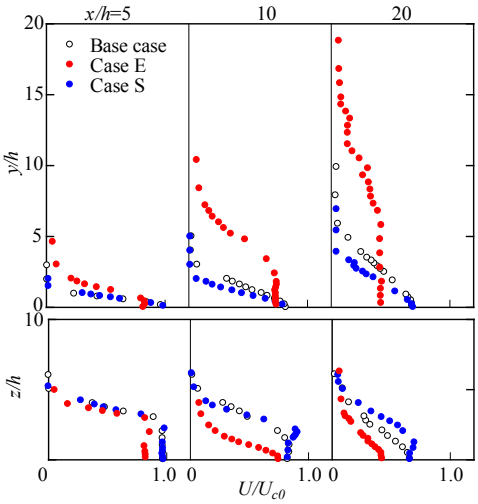
400ppm=0.04%　ppm=parts per million（100 万分の 1）

【アクチュエータによる噴流制御技術】

噴流は，出口のせん断層に大規模渦構造を生じ，それが下流の拡散流れを決めています．この渦構造にプラズマアクチュエータによる誘起流れを付加し，噴流をより拡げたり，逆に狭めたりするための条件とそのメカニズムを解明　→　**エアコンの効率アップ，混合促進，騒音・振動の低減**

噴流の速度分布





氏名： 近江　靖則 （エネルギー創造分野・キャリア・ストレージ分野）

研究概要：

二酸化炭素の排出量削減の観点から、再生可能なバイオマスを原料として、石油代替燃料のバイオアルコール（バイオエタノール、バイオブタノール）を微生物や菌により生産・利用することが注目されている。しかし、バイオアルコールを分離・精製を目的とする蒸留工程で大量のエネルギーを要することから、大規模な省エネルギー化が求められている。蒸留に代わり、耐酸性・耐久性が優れた無機膜による浸透気化法（Pervaporation Method：PV 法）による分離が大幅な省エネルギー化が期待されることから注目されている。その膜素材として、高耐熱性および高化学的安定性を有し、規則的な多孔体構造を有するゼオライトが候補の一つとして挙げられている。本研究室では、ゼオライトの中でも、高性能なエタノールを選択的に吸着するMFI型の構造を有し、その組成がシリカからなるsilicalite-1を素材として用い、そのsilicalite-1を支持体上に成膜することで、高性能な silicalite-1 膜の調製を行っている。今回は、支持体として、一般的にゼオライト膜の合成に使用されているアルミナやムライト支持体ではなく、空隙率が高く、またsilicalite-1 と同じオールシリカで構成されたシリカ支持体を用いた結果を概説する。シリカ支持体上への silicalite-1 膜の成膜条件について詳細に検討した結果、支持体上に緻密な層、その上に MFI 型ゼオライト膜特有の Coffin 型結晶が c 軸方向に成長した層という 2 層構造を形成する silicalite-1 膜の調製に成功した(Fig. 1)。また、Fig. 2 に示すように、種結晶の成長に必要なシリカ源がゲルからだけでなく、支持体側からも供給され、種結晶がゲル方向に成長した層が Coffin 型結晶層、支持体方向に成長した層が緻密層を形成したことにより、2 層構造が形成されたものと考えている。さらに、膜層全体が膜の分離性能に与える影響を検討した結果、一般に観察される、分離係数が高くなるほど透過流束は低くなるという、分離係数と透過流束間にトレードオフの関係が観察されなかった（Fig. 3(A)）。一方、緻密層厚に対する分離性能の関係を検討した結果、両者の間にはトレードオフの関係性が観察されたことから、緻密層厚が膜の分離性能を支配していることが示唆された（Fig. 3(B)）。

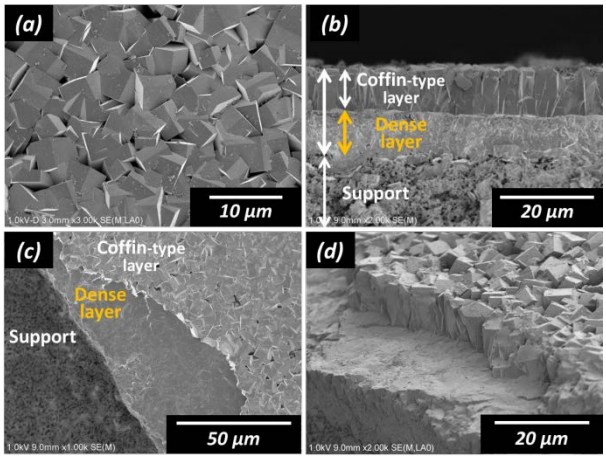


Fig. 1 SEM images of the SiO_2-supported Silicalite-1

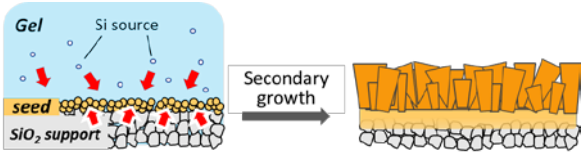


Fig. 2 Schematic representation of Silicalite-1 membrane prepared secondary growth on SiO_2

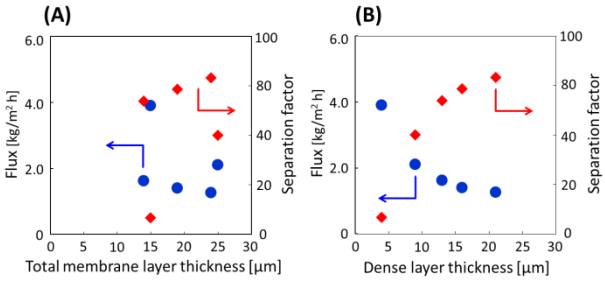


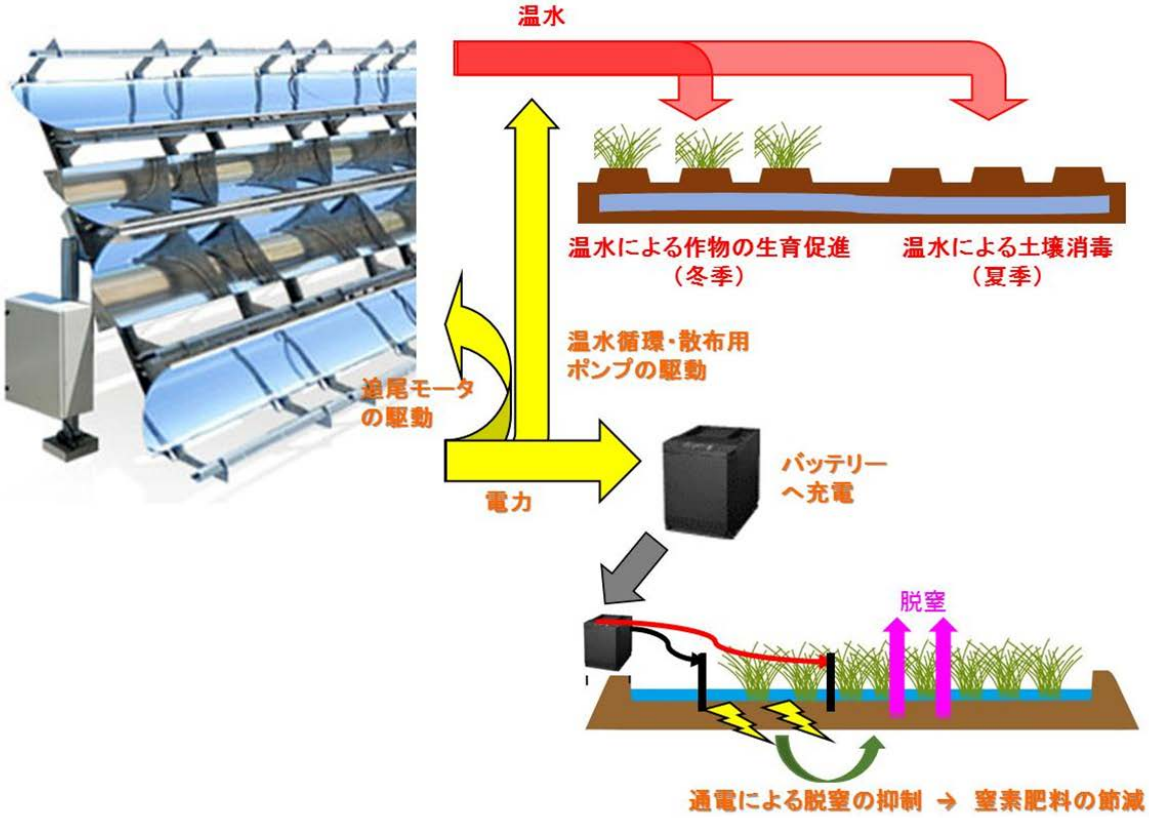
Fig. 3 Separation performance of prepared membrane

氏名： 大西　健夫 （エネルギー創造分野）

研究概要： 再生可能エネルギーと土壌の水・物質・微生物環境の制御に関する研究

①低倍率集光太陽光発電システムにより発生する熱水と電気による土壌環境の制御

土壌中には多様な微生物が生息するが、同一の作物栽培を連続すると特定の微生物種のみが優先し、作物が病害虫に弱くなることが知られている。この連作障害を避けるために、輪作などによる対処が古くから行われているが、特定作物を大量に作付けする商業的農家にとっては不向きな場合もある。連作障害を回避には、有害微生物を駆除する土壌消毒が環境への負荷も小さいマルチによる太陽熱消毒が注目を集めている。そこで、本研究開発では、マルチと、低倍率集光太陽光発電システムにより副次的に発生する温水との併用により、土壌消毒を試み、その効果を検証している。これまでには、岐阜大学の実験圃場で得た物理パラメータを用いた熱水の潅水効果の検討から、実験圃場の土壌では、マルチと組み合わせることで表層部分ではある程度の効果が見込めることがわかっている。昨年度は、第1に、数値シミュレーションを用いて、マルチを行わず熱水のみの散布効果の一般的な指針を検討した。第 2 には、熱水消毒効果の病原菌散布実験による実験的検証も行った。



氏名： 柏倉　伸男 （エネルギー創造分野）

研究概要：

現在、太陽光発電セルや液晶ディスプレイの透明電極に主として用いられているのは ITO（Indium tin oxides）であり、可視光領域で 80%以上の透過率と $4x10^{-5}$[Ω･cm]の比抵抗を持つワイドギャップ半導体である。しかし、ITO は希少元素である In を必要とするので、原材料の高騰や資源枯渇のリスクを抱えている。そこで希少元素を用いない ZnO や SnO_2 などの ITO の代替材料の開発が急がれている。

本研究室では不純物として微量の Al または Ga を添加した ZnO 薄膜を RF スパッタリング法でガラス基板上に堆積させ、電気特性、光学特性、結晶性、モルフォロジー、不純物濃度を含む組成測定など行い、スパッタリング条件や不純物濃度の最適化を行っている。

現在は、ZnO：Al 薄膜と ZnO：Ga 薄膜について RF スパッタリング法で溶融石英ガラス上に堆積させ、電気特性、光学特性、結晶性、不純物濃度を測定しながら、ターゲットの不純物濃度、スパッタリングガス圧、基板温度、投入電力などの成膜条件の最適化を行っている。

また、主に ZnO：Al 薄膜を用いて、通常は 300～400℃前後まで加熱する基板温度を室温（又は 100℃未満の比較的低温）に保ってスパッタリング法で成膜した後、酸化、非酸化、還元雰囲気中で薄膜を種々の温度で加熱しこれらの熱処理による薄膜の諸特性への影響を解析している。

ZnO：Al 薄膜については成膜条件を最適化することによって可視光透過率 80%以上の薄膜は比較的安定して得られているが、電気伝導度は ITO と比較して１桁程度低いものがほとんどである。電気特性を精密に測定し、キャリア濃度、移動度と不純物濃度、格子欠陥の種類とその量との間の関係性解析し、電気伝導度のさらなる改善を目指す。

さらに、常温（又は比較的低温）でスパッタリングした ZnO：Al 薄膜に対する熱処理の効果と電気特性の関連を精密に解析し、熱処理による電気特性の向上を図る。

ZnO：Ga 薄膜について RF スパッタリング法で溶融石英ガラス上に堆積させ、電気特性、光学特性、結晶性、不純物濃度を測定しながら、ターゲットの不純物濃度、スパッタリングガス圧、基板温度、投入電力などの成膜条件の最適化を行っている。しかし、Ga 添加の ZnO 薄膜は Al 添加の ZnO 薄膜に比べ成膜条件のわずかな違いに電気的特性が大きく影響されやすい事が分かった。

また、基板温度を高温に保つことや、比較的低温でスパッタリングした後、熱処理する替わりに基板（又はスパッタリング槽全体に）超音波を導入し、基板を高温にすることなく良質な薄膜を作製できないか可能性を探っている。

氏名： 神原　信志、早川　幸男 （エネルギー創造分野・キャリア・ストレージ分野・新産業創出分野）

研究概要：超高純度水素製造：プラズマメンブレンリアクターの開発

現在、水素の貯蔵・運搬方法として 700 気圧に圧縮するか、−253℃に冷却し液化する方法がありますが、そのコストが無視できないという課題があります。その解決策の 1 つとして注目されているのがアンモニア（NH_3）です。液化アンモニア(市販アンモニアボンベ容積 73L)に含まれる水素ガス量は 97275 NL で、液化水素の約 1.7 倍、圧縮水素の約 3 倍です。このように、アンモニアは水素キャリアとして大きな可能性があります。本研究開発は、必要な時に、必要な場所で、必要な量の水素をアンモニアから製造するデバイス開発です。

図1にプラズマメンブレンリアクター（PMR）の概要と原理を示します。PMR は、水素分離膜（高電圧電極を兼ねる）、石英ガラス管、接地電極、プラズマ電源で構成されています。長さ 40 センチ、直径 5 センチの円筒状の石英ガラス管の内部に、円筒状の水素分離膜を配置しています。PMR にアンモニアを供給し、プラズマ電源から 3 万ボルトの電圧を印加すると、アンモニアが水素原子（H）と窒素原子（N）に解離されます。水素分離膜は水素原子のみを透過させるので、水素原子と窒素原子を分離することが出来ます。水素分離膜を透過した水素原子は再結合して水素（H_2）になり、高純度水素として外部に取り出すことが出来ます。残りの窒素原子は再結合して窒素（N_2）になり、大気へ排出されます。

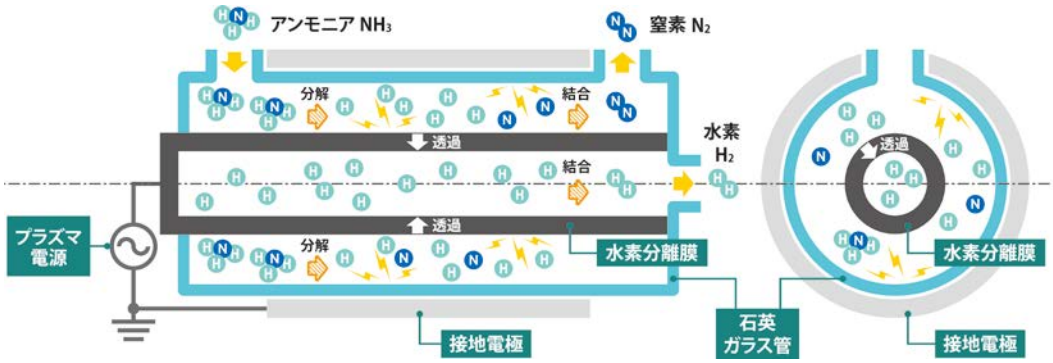
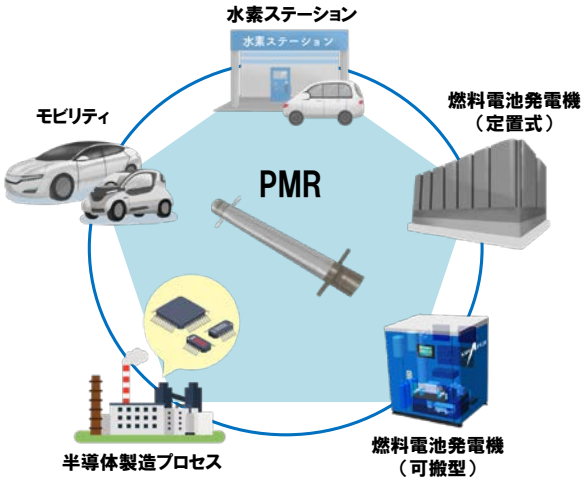


図1　プラズマメンブレンリアクター（PMR）の概要と原理

PMR1本あたりの水素製造量は現在 150 NL/h で、水素製造装置として商用化できるレベルにまで達しましたが、今後も 500 NL/h の水素製造量（自立型燃料電池発電機を構成できるレベル）を目標として開発を継続します。液化アンモニアはすでに流通が確立していることから、多様な応用が考えられます（右図）。今後は、水素ステーション、燃料電池発電機、半導体製造プロセス、モビリティなどへの応用を意識した研究開発を推進していきます。2020 年商品化を予定しています。

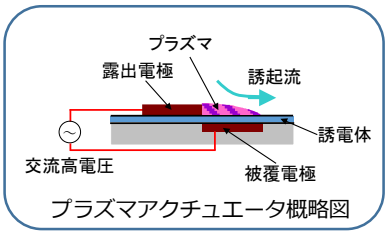


氏名：菊地　聡（エネルギー創造分野）

研究概要：流れの制御　および　地面効果翼機エアロトレインの研究

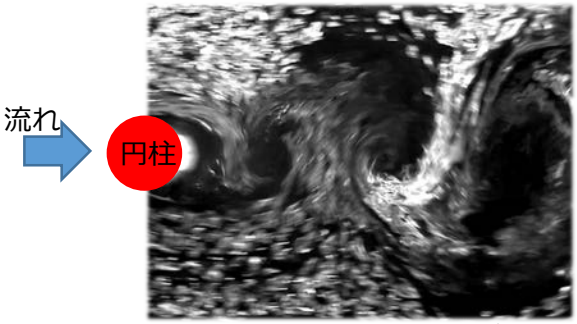
流れの制御

流体関連機器のエネルギー効率向上や振動騒音などの低減が目的
制御デバイス：プラズマアクチュエータ
　弱電離プラズマを利用して誘起流を発生させる装置
　高応答を利用して流れに変動を導入して
　　⇒ 流れにもともと存在する変動の周波数を変える
　　⇒ 流れが変わる

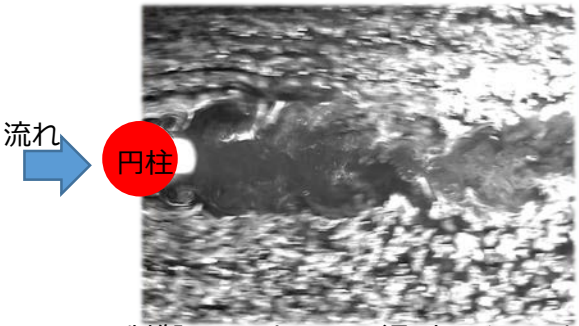


プラズマアクチュエータ概略図

制御例　　円柱後流のカルマン渦列の制御



制御 OFF：カルマン渦列が存在



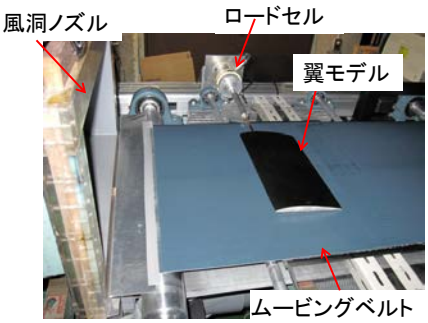
制御 ON：カルマン渦列なくなった

地面効果翼機エアロトレインの研究

翼を使って凹型のガイドウェイ内を浮上走行する高速交通システム
地面近くで発生する翼の地面効果を利用することで高効率
　　⇒　自然エネルギーのみでの運行を目指して研究開発

風　洞　実　験：更なる効率向上のための基礎的データを取得
浮上走行実験：システムの実証

完成イメージスケッチ



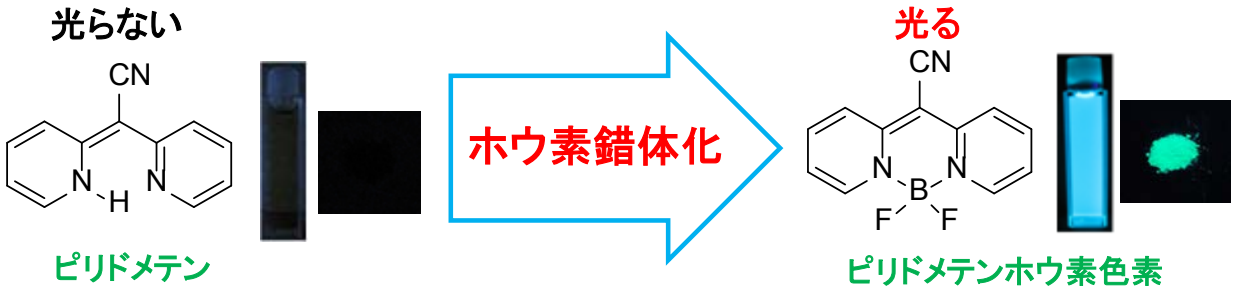
風　洞　実　験
基礎データの取得

浮上走行実験
実　証

氏名： 窪田　裕大 （エネルギー創造分野）

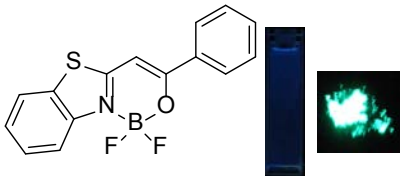
研究概要：

新規な色素、特に有機ホウ素色素の開発を行っております。色素のホウ素錯体化は新規な蛍光色素を開発するための優れた方法の一つです。例えば、ピリドメテンは蛍光を示しませんが、ピリドメテンのホウ素錯体であるピリドメテンホウ素色素は溶液中および固体状態の両方で蛍光を示すようになりました。また、有機ホウ素色素の光学特性（吸収波長や蛍光波長など）は配位子である色素の構造に大きく依存します。例えば、チアゾールホウ素色素は、溶液中では蛍光を示しませんが、固体状態では強い蛍光を示しました。このような現象は通常の蛍光色素とは正反対の性質であり、凝集誘起発光（AIEE）特性と呼ばれる珍しい現象です。また、ピラジンホウ素色素は溶媒の種類（極性）により蛍光色が変わる蛍光ソルバトクロミズムを、キノイド型ホウ素色素は電気により色が変わるエレクトロクロミズムを示しました。



Kubota, Y.; Tsuzuki, T.; Funabiki, K.; Ebihara, M.; Matsui, M. *Org. Lett.* **2010**, *12*, 4010−4013.

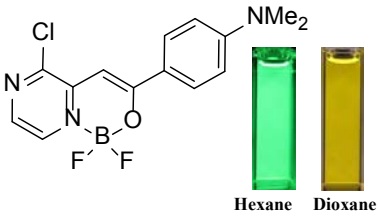
凝集誘起発光（AIEE）



チアゾールホウ素色素

Kubota, Y.; Tanaka, S.; Funabiki, K. Matsui, M. *Org. Lett.* **2012**, *14*, 4682−4685.

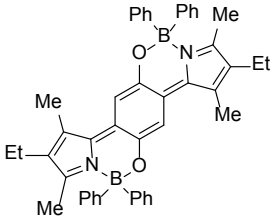
蛍光ソルバトクロミズム



ピラジンホウ素色素

Kubota, Y.; Sakuma, Y.; Funabiki, K.; Matsui, M. *J. Phys. Chem. A* **2014**, *118*, 8717−8729.

エレクトロクロミズム

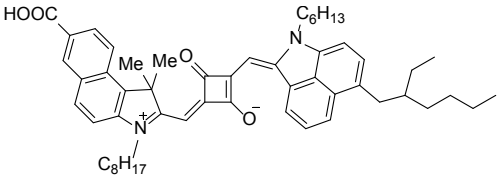


キノイド型ホウ素色素

Kubota, Y.; Niwa, T.; Jin, J.; Funabiki, K.; Matsui, M. *Org. Lett.* **2015**, *17*, 3174−3177.

色素増感太陽電池用の増感色素の開発も行っております。色素増感太陽電池の実用化において、近赤外領域において高い光電変換を示す増感色素の開発が課題となっております。我々が開発したベンズ[*c,d*]インドレニン型スクアリリウム色素は、変換効率（η）が 1.31%であり、640nm から 860nm という近赤外領域において、光電変換効率（IPCE）が 20%以上、光電変換の波長領域が 1000nm におよぶという高い近赤外光電変換能を示しました。

近赤外増感色素

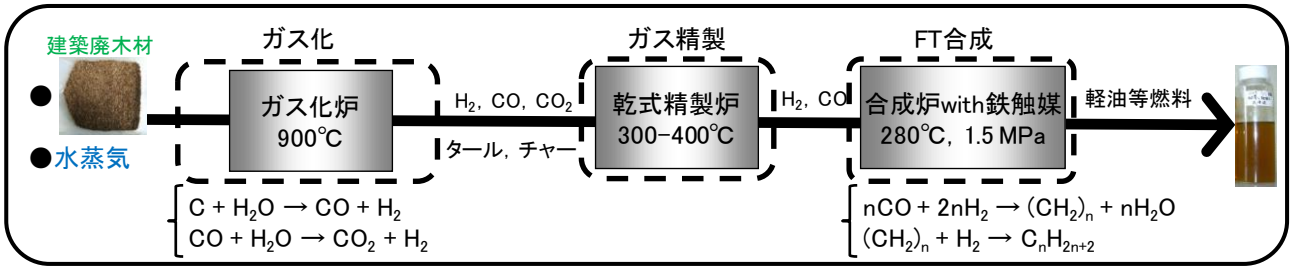


η = 1.31%
IPCE > 20% (640−860 nm)

Haishima, Y.; Kubota, Y.; Manseki, K.; Jin, J.; Sawada, Y.; Inuzuka, T.; Funabiki, K.; Matsui, M. *J. Org. Chem.* **2018**, *83*, 4389–4401.

氏名： 隈部　和弘（エネルギー創造分野）

研究概要：　**木質バイオマス廃棄物からの液体燃料製造（BTL）プロセスに関する研究**



年間発生量が全国で約 500 万トンの建築廃材リサイクル工場で使用されるエネルギーの 50%は重機等に用いる軽油であり，この軽油を建築廃木材から製造（Biomass to Liquid，BTL）できれば，リサイクル促進に加えて，CO_2 排出量低減も期待できる．しかし，現在の技術では製造コストが¥250/L 以上かかること［環境情報科学論文集 2009；23：227-232］が課題となっている．

本研究は建築廃木材リサイクル工場の重機等燃料の環境に配慮したグリーン化および製造コストの¥100/L 以下への低減化を最終目的として，東海地区の建築廃木材リサイクル企業と共同で研究開発を行うことにより，木質バイオマス廃棄物からの地方創生エネルギーシステムの構築を目指す．具体的な各研究内容は以下のとおりである：

（1）BTL プロセスのための建築廃木材のガス化

1960 年代から約 40 年間使用されてきた建築廃木材には防腐・防蟻剤として銅，クロム，ヒ素を含有する CCA（Chromated Copper Arsenate）薬剤での保存処理がなされている．特に，ヒ素は生体に悪影響を及ぼし，建築廃木材ガス化反応器や重機用燃料の製造に用いる触媒の腐食も懸念されるため，ガス化でのヒ素の挙動を明らかにする必要がある．

本研究は，建築廃木材をガス化し，Fe 系触媒を用いた Fischer-Tropsh（FT）合成による重機用燃料の製造に最適なガス化ガス中 H_2/CO モル比が約 1 になるガス化条件および廃材中含有ヒ素のガス化での挙動を明らかにすることを目的としている．

（2）建築廃木材ガス化残渣・炭化物を用いた乾式ガス精製

本研究では，建築廃木材ガス化で生成するタールやヒ素，硫化水素等を除去するための炭化物を建築廃木材から製造し，SEM 観察，CHN 分析，BET 比表面積等分析により炭化物のキャラクタリゼーションを行っている．今後はその炭化物を用いた乾式ガスクリーニングを検討する予定である．

（3）建築廃木材からの液体燃料製造を目的とした FT 合成

建築廃木材リサイクル促進のために，FT 合成触媒の低コスト化が求められている．本研究では，エネルギー利用には不利なオレフィン生成が主の Fe 系 FT 合成触媒の改良を行い，エネルギー利用に有利なパラフィン生成が主となることを目指し，当該触媒を用いた FT 合成のメカニズム解明を行っている．

（4）建築廃木材からの液体燃料製造プロセスの環境性・経済性評価

本プロセスを実用化させるには実験的検討だけでなく，経済性や環境性の評価も行う必要がある．本研究では，プロセス設計を行い，軽油収率，投入エネルギー量，CO_2 排出量，固定費，運転費の観点から，環境性および経済性を評価している．

氏名： 久米　徹二 （エネルギー創造分野）

研究概要：

現在の材料開発の傾向は、環境に優しい元素による新しい機能性の発掘である。環境に優しい元素とは、手に入りやすく（輸送コストが低く）、生体への毒性が低いため、無害化するコストも低い。「元素の手に入りやすさ」の目安は、地表付近における元素の重量比率（クラーク数）で表され、上位から、O、Si、Al、Fe、Ca、Na、K、Mg、H、Ti 等となっている。

本研究では、クラーク数上位の元素、特に Si（ケイ素）、Ge（ゲルマニウム）といった半導体として最も用いられる IV 族元素による新しい材料を創製し、それによる新しい物性や応用の可能性を探ることを目的としている。通常 Si、Ge の結晶構造はダイヤモンド構造であり、典型的な半導体材料として広く用いられている。一方、通常とは異なるカゴ状の結晶構造（クラスレート構造：図 1）をとることも可能である。この新しい Si や Ge 材料は、通常とは大きく異なり、たとえば「非常に優れた太陽電池材料」になると期待されている。

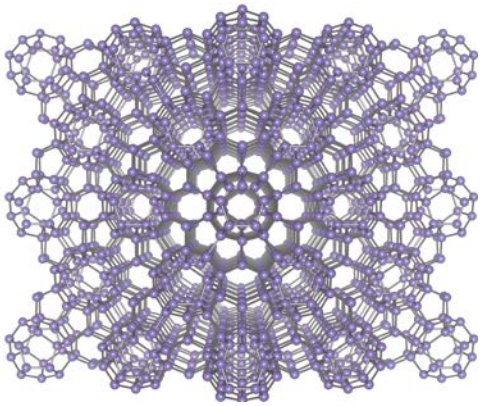


図1　クラスレート構造　Si、Ge　のカゴ状構造物質

これまでに我々は、構造 II 型 Si クラスレートを Si 基板上に作製することに成功し太陽電池動作を確認している。図2に、昨年作製した Si クラスレート太陽電池とその分光特性を示す。Si クラスレートは n 型であることが分かっており、水素化非晶質 Si の i 層および p 層を積層することで p-i-n 接合を形成した。光電流の波長依存性は、結晶 Si、非晶質 Si のいずれとも異なっており、Si クラスレートが発電に寄与しているものと理解できる。変換効率は、0.1~1 %とまだ小さいが、今後、膜質の向上などを主に行い、効率向上を目指す。

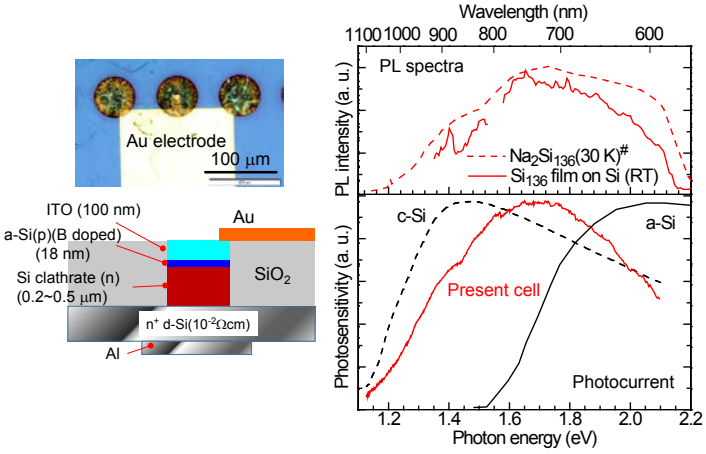


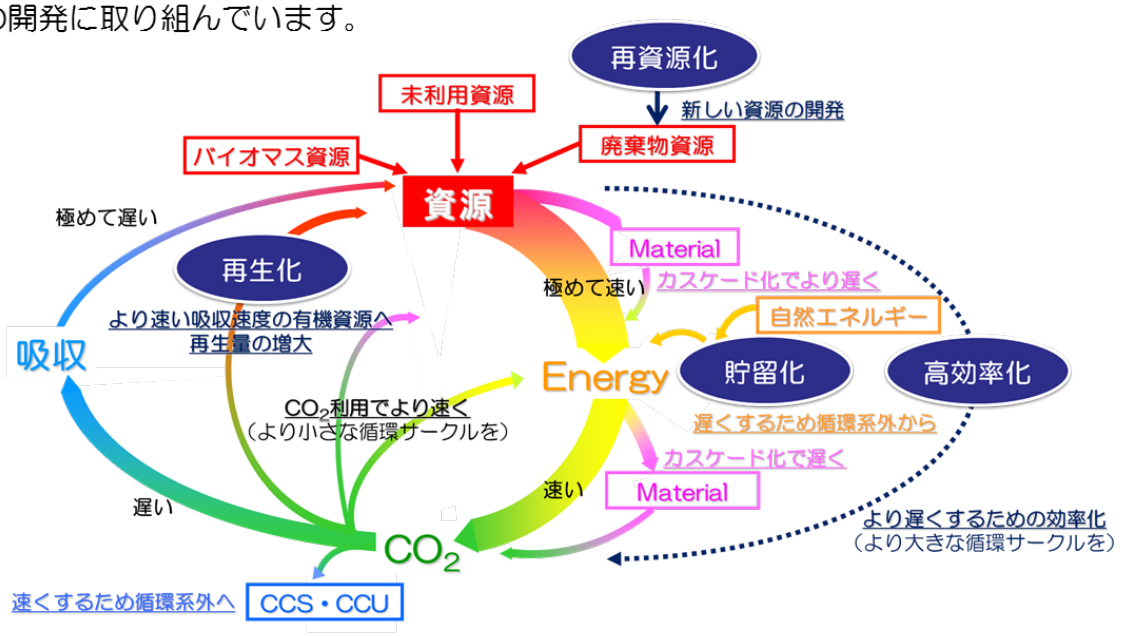
図2　作製したSiクラスレート太陽電池とその分光特性．右図上は発光スペクトル．

氏名： 小林 信介 （エネルギー創造分野・キャリア・ストレージ分野・新産業創出分野）

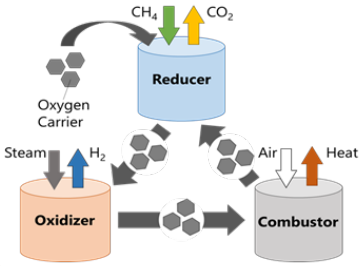
研究概要：

低循環速度社会構築のための 高効率化・再資源化・貯留化・再生化

研究方針：資源の利用速度は極めて速いため、現代の資源利用速度を遅くする資源利用の**“効率化”・“再資源化”・“貯留化”**および資源への再生速度をより速くする**“再生化”**技術の開発に取り組んでいます。

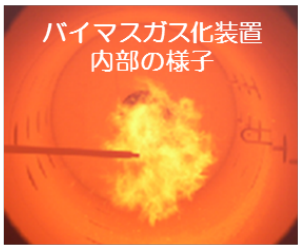


ケミカルルーピングプロセスによる水素製造技術（効率化・貯留化）



- ケミカル・ルーピングは、廃棄物を原料としてCO_2の分離と水素製造が可能。
- 酸素媒体の蓄熱機能を利用することでさらに高効率な水素製造が可能。

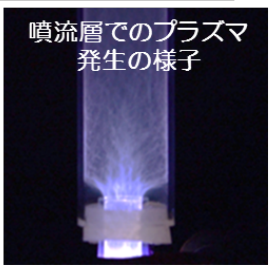
バイオマスを原料とするガス化技術（効率化・再資源化）



- 汚泥や木質バイオマスを原料として高効率でH_2やCOなどの合成ガスに変化するプロセス。
- H_2やCOはガスエンジンを用いて発電可能であり、合成ケミカル原料としても利用可能。

流動層プラズマリアクターによる粒子改質・固気反応（効率化・再生化）

- 平面のプラズマ処理にしか対応できなかった従来大気圧プラズマ装置に対して、3次元構造を有する粒子の表面改質や触媒気固反応+プラズマの同時処理が可能。



水熱処理技術による低品位炭素資源のアップグレード化（再資源化）

- 木質系バイオマスや汚泥、褐炭などの低品位炭素資源や高含水率有機炭素を高カロリーの炭素燃料へと改質する水熱処理技術。
- 連続的に水熱処理が可能な装置を開発。

氏名： 小宮山　正治 （エネルギー創造分野）

研究概要：

環境負荷低減を目指した燃焼方法として予混合燃焼法があるが，これは燃料と空気をあらかじめ混合させた後で，燃焼することにより高温度燃焼領域を減少させて，酸性雨の原因となる窒素酸化物の排出を削減する方法である．しかし，この燃焼方法は均一な温度の燃焼場を形成可能とする反面，燃焼場温度の低下による燃焼の不安定が増し，さらに逆火（図1）による火炎の広がりによる燃焼機器の焼損を生じる危険性がある．このため，燃焼技術を高度化して，環境負荷低減に向けた燃焼技術を開発することが肝要となる．

燃焼特性を向上するためには火炎挙動を可視化して分析することが重要である．工業燃焼器で重要と考えられる円管内旋回流れが伴う燃焼場での火炎と流体挙動計測はほとんど報告例が見られない．これは円管表面での散乱の影響及び円管での像の湾曲のため鮮明な粒子画像計測が困難となるためである．そこで，光源とは反対側へ散乱する光を利用することにより円管表面からの反射を抑えて鮮明な粒子画像を計測するとともにトレーサー粒子に可燃性粒子を用いることで，火炎境界面の形状を鮮明に計測することを可能とする（図2，3）．画像解析に基づいた結果から火炎伝搬方向とその火炎先端部の流動の関連性を分析し，火炎挙動の安定化を図り，燃焼技術の高度化を目指す．

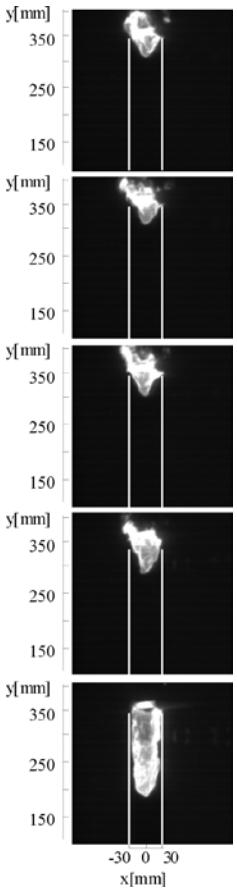


図１　円管内旋回流中を伝播する予混合火炎の高速度撮影

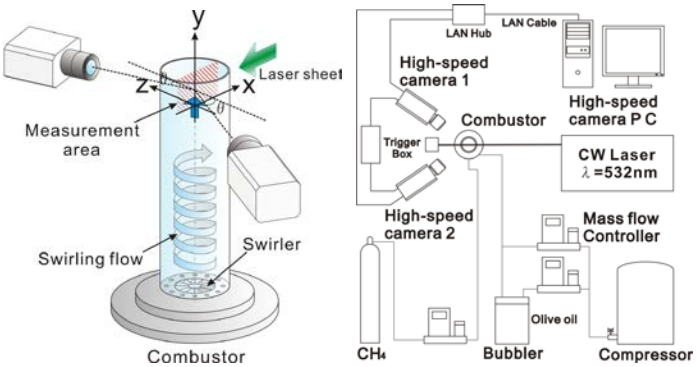


図２　管内旋回流予混合火炎の時系列レーザ画像計測系

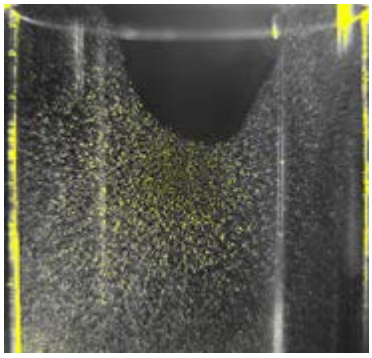


図３　円管内旋回流中を伝播する火炎と流れの粒子画像

氏名： 芝原　文利 （エネルギー創造分野）

研究概要：

含硫黄 π共役系拡張分子の簡便構築と有機半導体デバイスへの応用

最近、カルボニル基を含む拡張 π共役系化合物が特に有機半導体材料に高い適合性を持つことが明らかになり、活発に研究されている（図1）。

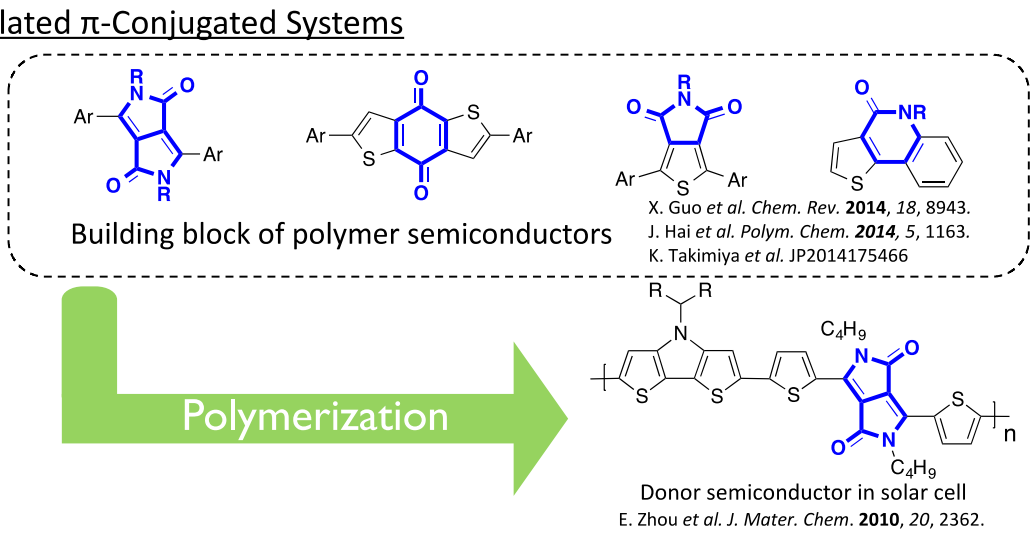


図1．カルボニル基を含む半導体材料の例

一方、これらカルボニル基の酸素原子を硫黄で置き換えた化合物群は、理論的考察により、伝導性材料として、より高い性能を持つことが期待されている(図2)。しかし、チオカルボニル基は、π共役系拡張のための一般的手法である遷移金属によるクロスカップリング型反応において、しばしば触媒毒になり、反応を阻害してしまうことが知られており、それらの代替手法の開発が求められていた。最近申請者らによって開発された、パラジウム/1，10−フェナントロリン触媒系は、チオカルボニル基を含む化合物による被毒を回避し、クロスカップリング型反応で高い触媒活性を示すことを明らかにした(図3)。最近われわれは、これらの反応を利用する多様な有機半導体材料の開発を展開している。

図２．チオカルボニル化合物の特徴

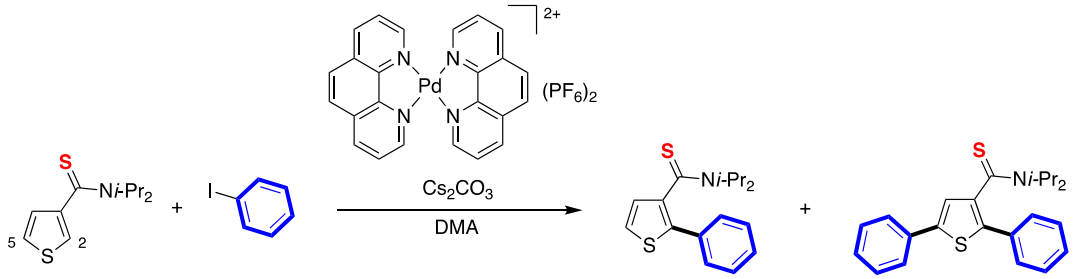


図3．パラジウム/1，10−フェナントロリン触媒系によるチエニルチオアミドへのアリール基導入反応

氏名： 杉浦 隆 （エネルギー創造分野・キャリア・ストレージ分野）

研究概要：太陽光有効利用を目指したエネルギー変換に関する研究の中で、人工光合成による水素エネルギー生成を目指した材料探索が活発に行われている。1972 年、本多・藤嶋らによって、酸化チタン電極に水溶液中で紫外光を照射すると水が酸素と水素に分解されるということが発見されて以来、半導体を用いた水の光分解に関する研究が世界中で活発に行われている。この酸化チタンに光が照射されると高いエネルギーを持つ電子と正孔が生成され表面の有機物などを分解したり超親水性にしたりできるという原理を用いて、ビルの外装材や空気清浄機などへ抗菌、防汚などの効果を示す光触媒応用が実用化されている。岐阜大学工学部校舎も酸化チタン光触媒塗装が施され、太陽光と雨の力で白さが保たれている。しかし酸化チタンはそのエネルギーギャップ 3.1 eV であることから太陽光に約 4 %含まれている紫外光しか利用できないため、エネルギー変換としての高効率化には可視光を吸収して水を光分解できる半導体材料の開発が必要である。そのうちの一つに GaN：ZnO 固溶体がある。この固溶体粉末に酸化クロムとロジウムを助触媒として添加することで波長 470nm 以下の可視光で水を水素と酸素に分解することに成功している。一種類の半導体を用いた可視光による水分解の例はまだ少なく、これはその一つである。$Ga_xIn_{1-x}N$ は LED 光源の材料として広く用いられており、Ga と In の組成を変えることにより可視光を含む紫外から近赤外まで広い波長範囲に応答するバンドギャップを制御でき、光触媒への応用例は少ないが興味深い材料である。

本研究では、GaN、GaN:ZnO 固溶体粉末、$Ga_xIn_{1-x}N$ 固溶体など種々の窒化物、酸窒化物の新規合成法の開発と光触媒、色素増感太陽電池基板電極への応用などを検討している。通常これらの合成には原料金属をアンモニア気流中で加熱したり、窒素を原料として高温・高圧下で反応させたりする方法がとられているが、当研究室で開発した固体窒素源を用いた新規手法により、マイルドな条件で GaN：ZnO 固溶体などの酸窒化物半導体の合成が可能となる。固体窒素源である窒化リチウムあるいはリチウムアミドと酸化ガリウム、ガリウム酸亜鉛などの金属源を混ぜ、窒素雰囲気大気圧条件下で加熱、反応させるという簡単な方法で窒化物、酸窒化物粉末が得られることを報告している。酸化物半導体の中には水溶液中で安定で、水の光触媒分解応用が可能なものが見いだされているが、紫外光に応答するものがほとんどである。多くの場合、酸化物半導体を窒化して酸窒化物とすることで応答範囲を可視光領域まで拡張することができる。Fig. 1 に示すように、酸窒化物半導体微粒子に水中で太陽光照射することにより高効率な水素エネルギー変換が可能となると考えられる。

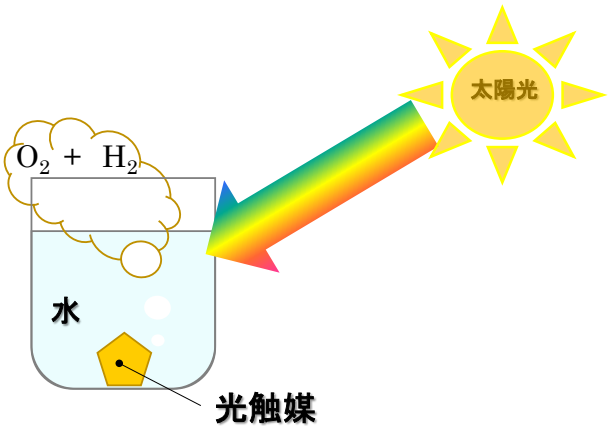


Fig.1 光触媒を用いた太陽光水分解による水素生成

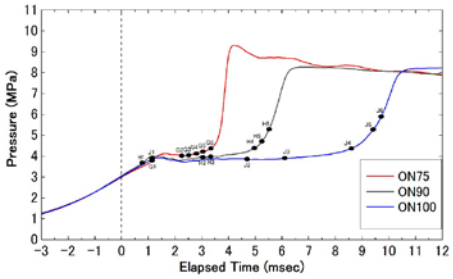
氏名： 高橋　周平 （エネルギー創造分野）

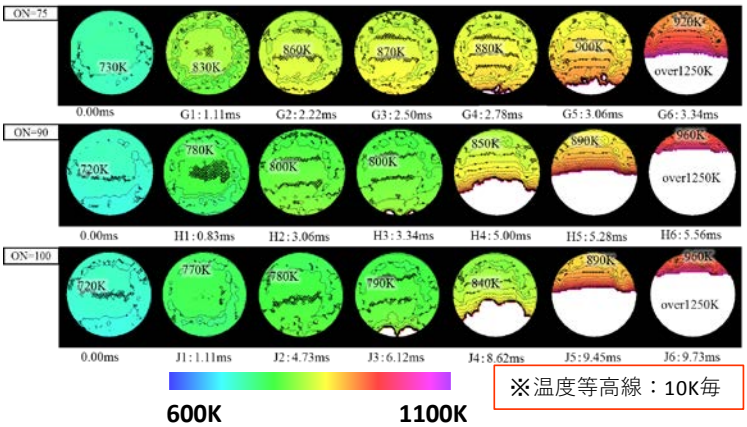
研究概要：次世代燃焼技術による低環境負荷熱機関の開発および新燃焼技術利用領域の創生

研究内容

■ エンジン筒内の高空間・高時間分解温度計測

エンジン内の高速な温度変化を分布情報としてとらえることにより，次世代のエンジン燃焼方式として期待されている均質予混合気圧縮自着火（HCCI: Homogeneous Charge Compression Ignition ）における詳細な解析を行う．

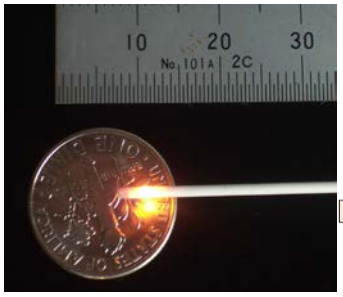


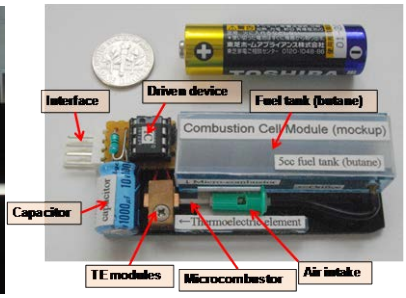


※温度等高線：10K毎

■ マイクロコンバスタによる個人用パワーユニットの開発

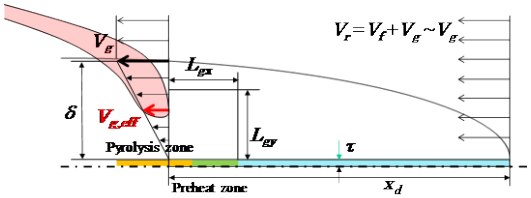
触媒燃焼を利用したマイクロコンバスタ（非常に小さい燃焼器）に熱電素子を組み合わせることで，災害時などに個人で携帯できる電源・熱源として使えるマイクロコジェネの開発を行う．

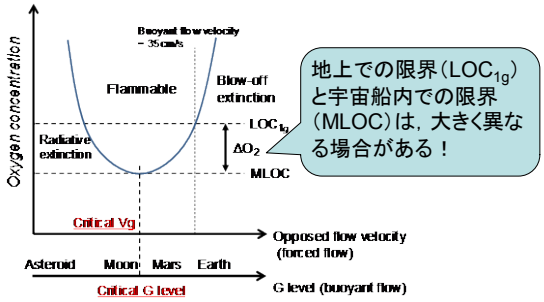




■ 無重力・低重力環境におけるプラスチックの可燃性評価

宇宙空間や月面基地などにおける有人宇宙活動では，宇宙船内や施設内での火災安全性を確保することが最重要課題となっている．理論式と航空機を利用した無重量実験の結果をもとに，宇宙環境での材料可燃性基準の指針を示し，ISO規格制定を目指す．





氏名： 武野 明義 （エネルギー創造分野）

研究概要： クレーズによるナノ多孔リチウムイオン電池セパレータ

＜はじめに＞

電池を構成する主要部材の一つであるセパレータの基本的な役割は、正極材と負極材を隔離することと、電池反応に必要な電解液を保持することである。この多孔膜を作製する手法は数多いが、クレージングによる多孔化法は他に例がない。また、孔が 30 nm 前後と非常に小さく、ラプラス圧を利用したシャットダウンが可能となったことで、従来品に比べ安全性が大幅に向上する。

＜クレージング法＞

クレーズとは、固体高分子に生じる破壊の初期段階を示し、日常的にプラスチックの白化現象として目にするものである。フィルムに安定してクレーズを生じさせる方法を図1に示した。通常はクレーズが発生すると次にクラックが生じて破断するが、図のような条件下では、写真に示すようにフィルムに縞状のクレーズ相（黒色部分）が生じる。

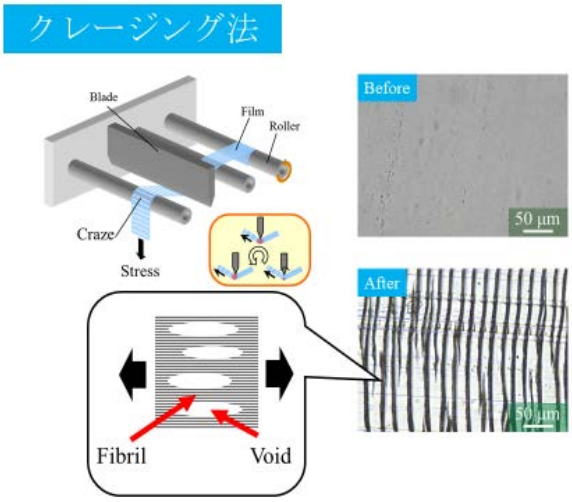


図１　クレーズによる多孔化プロセス

＜電池セパレータとしての透過性＞

図2は、このクレーズフィルムの気体透過性（窒素ガス）を、多孔性の変化とともに示している。クレーズ処理条件を最適化した As crazing の試料の多孔率約20%を、クレーズ成長技術により 60%にまで増加している。特に、透過率の向上が著しく、市販セパレータと比較して気体透過性に優れたフィルムとなった。また、孔の持つラプラス圧（界面張力）により、60℃付近からヒーリング（孔の収縮）が起こる（大気中）。融解を用いる従来のセパレータフィルムに比べ、安全に電池をシャッダウンできるだけでなく、単層であるため電池の高容量化が可能である。

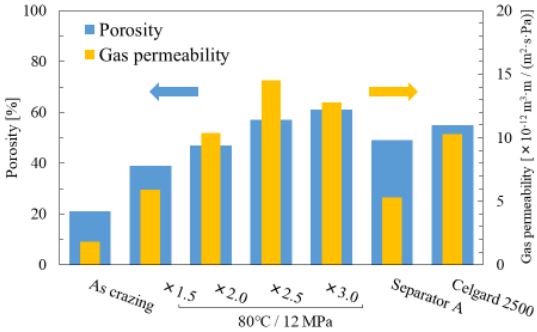


図２　クレーズフィルムの気体透過性

氏名： 玉川　一郎 （エネルギー創造分野）

研究概要： レーザー光伝播への応用を目指した大気乱流の研究

レーザー光は、高速通信や直線性を活かした秘匿通信、さらには、離れた場所へのエネルギー伝送など様々な応用が期待されている。レーザーポインタや工事現場での応用では通常問題にならないが、レーザー光は大気の屈折率が空間的・時間的に変化する影響を受けて、曲がったり、広がったり、明滅したりといった挙動を示す。これは通常の生活で見られる、陽炎や逃げ水、星の瞬きと同種の現象である。この種の挙動そのもの、あるいはその変動の大きさや時間スケールとなどの性質を予測することができれば、レーザー光の応用にとって有益な情報となる。大気の屈折率変動は主として気温の変動で起こり、その変動は、大気乱流によってもたらされる。

一方、大気乱流は、気象学のでは大気の下端の境界層での乱流として、地表面から熱や水蒸気を上空へと輸送する機能に注目して研究が進められてきており、密度成層流体中の乱流として、その挙動に関して統計量の取り扱いに関して、理想的な状況における理論的フレームワークと実験式がすでに作られている。そこで、「乱流理論としての十分なデータに基づく統計から、レーザー光伝播に関して実際に現象を引き起こすパス中の変動、すなわち不十分な量のサンプルに基づく統計値の振る舞いの研究」「および、天気予報で使われる数値気象モデルの出力から屈折率変動の予報」の2つのお互い関連した目標を設定し、まずは、観測に基づく基礎的な解析から研究を進めている。

下の図は、学内で行った観測の様子である。超音波風速温度計および細線熱電対温度計の多点観測によって、気温および風速の乱流変動とその分布を計測し、その近くでレーザー光の明滅を計測して、その結果を比較し、検討を進めている。

この観測は一見簡単なようだが、熱電対には電磁ノイズが入りやすく、観測系としては非常に難しく、さらに改善の余地がある。

また、これ以外に、大気と地表面での物質やエネルギーの交換量の評価としての大気乱流観測や、山地での降雪量観測など、その他の気象観測に基づく研究も進めている。

左図：超音波風速温度計と多点細線熱電対による大気乱流の観測、　右図：シンチロメータによる大気屈折率変動の観測（川崎重工株式会社との共同研究による）

氏名： 西村　眞一 （エネルギー創造分野）

研究概要：小水力発電を行うためには水路の落差が必要であるが，水衛星画像を用いて水路落差を広域的に検出するアルゴリズムの開発を行っている。

図 1 は農地，宅地および用水路を含む衛星画像であるが，この中から水路と思われる部分を選定した後に水路の段差と考えられる部分を検出する。水路と思われる部分の選定では比較的大きな水路の画像とある程度同じ RGB の数値を示す部分をピクセル単位で検出した。また，水路段差と思われる部分の選定ではほぼ白を示す部分をピクセル単位で検出した。

図 2 は図 1 より水路あるいは水路段差と思われる部分のみを取り出した画像である。水路と思われる部分は図 2 の青色の部分であるが，住宅地や農地全般に広がっているためこの中から水路を検出する必要がある。この検出には水路を示すピクセルがある程度の長さでつながり，かつ長さに比べて幅が小さくなっている部分を水路と判断した。水路段差と思われる部分が水路と判定された部分の間にあればその部分を水路段差として検出したが図 2 中の番号はその位置を示している。

水路横に樹木が植えられているいると葉が水路を隠すため水路と判定しない場合や，水路横の白い道路が水路段差と判定される場合などまだいくつか課題が残っているが，広い範囲での水路段差の検出には有効と考えられる。

図 1　衛星画像（処理前）

図 2　衛星画像（処理後）

氏名： 伴　隆幸 （エネルギー創造分野）

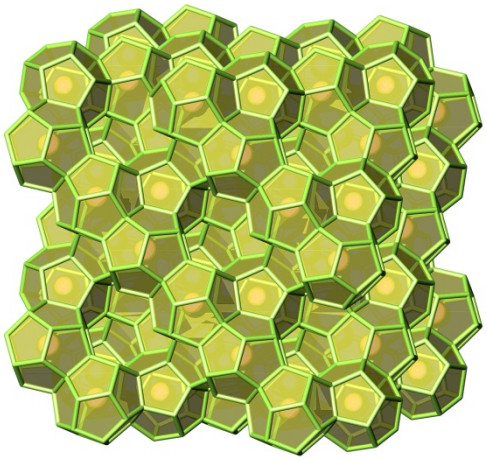
研究概要：

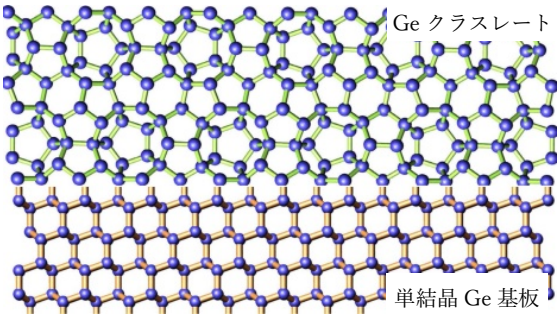
【新規太陽電池材料を目指したシリコンクラスレートの結晶構造評価】

　シリコンクラスレートを新規太陽電池材料に応用するため基礎的な結晶学的評価を行っている。

　シリコンクラスレートは右に示すように、カゴ状構造をもつ。このカゴの中にゲスト原子を取り込むことが、クラスレートの結晶構造や熱膨張に与える影響などを解析

→ シリコンフレームワークとゲスト原子の相互作用の解明

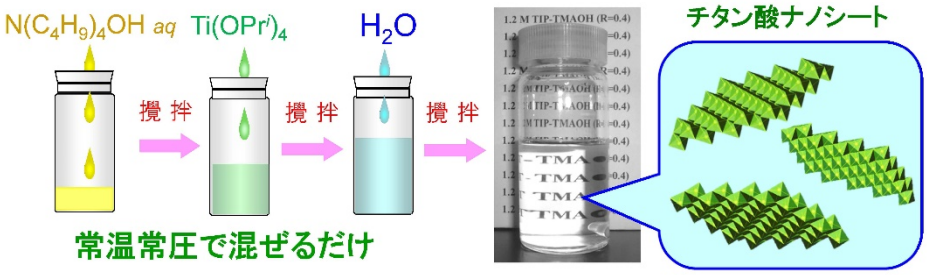


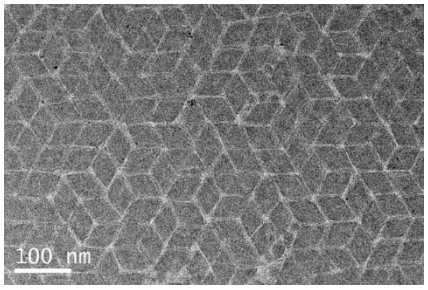


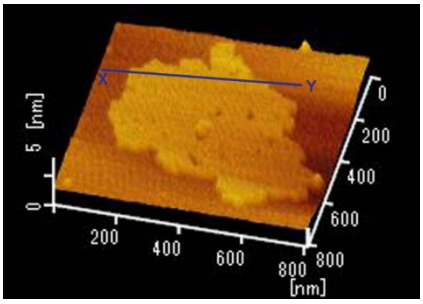
　シリコンと同様にゲルマニウムもクラスレート構造をとる。その薄膜を単結晶ゲルマニウム基板上に作製し、そのエピタキシャル成長（基板の結晶構造で薄膜の結晶方位を制御できること）を明らかにした。

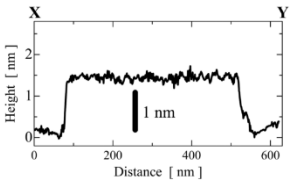
【金属酸化物系の無機ナノ材料の合成法の開発とその評価・応用】

　水溶液中で２種類の試薬を混合するだけで、厚さ約１nm の二次元材料、金属酸ナノシートや金属酸ナノフレークが合成できることを見出した。









この方法で作製した金属酸ナノシートの特長を活かし、この材料独自の応用を検討中

- ナノシート(ナノフレーク)と有機化合物とのハイブリッド化 → 光触媒などへの応用
- 小さい面内サイズと、金属性，半導体性，絶縁性など種類の多様性 → 新規光学材料への応用

氏名： 藤原　裕之 （エネルギー創造分野）

研究概要：

現在、クリーンエネルギー源である太陽電池が活発に研究開発されていますが、当研究室グループでは、太陽電池の大規模普及を促進するため、主に以下の 2 つの研究テーマを推進しています。

①太陽電池シミュレーション技術の開発

現在の太陽電池の研究開発では、太陽電池構造が複雑化していることもあり、デバイスの動作を正確に把握することのできるシミュレーション技術が極めて重要になっています。当グループでは、各種太陽電池デバイスにおいて光生成電流を高精度に評価できる技術を開発しています。図1は、当研究室で初めて開発されたシミュレーターを使用して計算した $CuInGaSe_2$（CIGS)太陽電池内部のキャリア濃度分布を示しています。また図 2 は、このシミュレーションにより初めて明らかとなった太陽電池各層の電流損失を示しています。これらの結果から太陽電池をどのように改善すれば効率が向上するのかを判断することができます。

②太陽電池材料の探索および評価

太陽電池の潜在変換効率は、太陽電池材料の光吸収特性によってほぼ完全に決定されます。そのため、太陽電池に適した材料を見つけ、それを用いて太陽電池を作る事が非常に重要です。太陽電池材料の探索には、いちいち材料を作るのではなく、第一原理計算による量子計算により材料を探す事が非常に有効です。ただし、実際の材料特性が計算から求めた特性と一致しているか確かめる必要もあります。本研究室では、計算科学を利用した材料探索および分光エリプソメトリーを用いた光学特性評価を行っており、この分野で世界の研究をリードして来た経緯があります。図 3 は、これまで、国立研究所との共同研究等により評価を行ってきた最先端の太陽電池材料の光吸収特性を示しています。これらのデータは世界で広く利用されています。

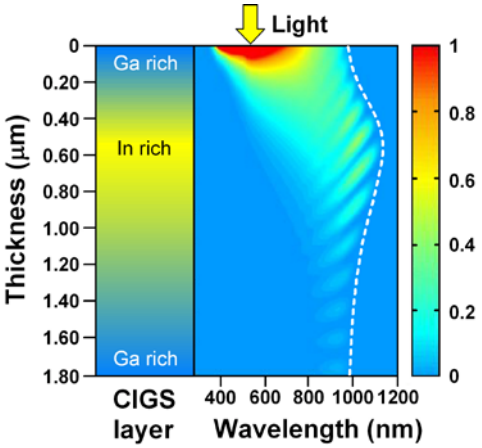


図 1. 光照射により生成した $CuInGaSe_2$ 太陽電池内部のキャリア濃度分布

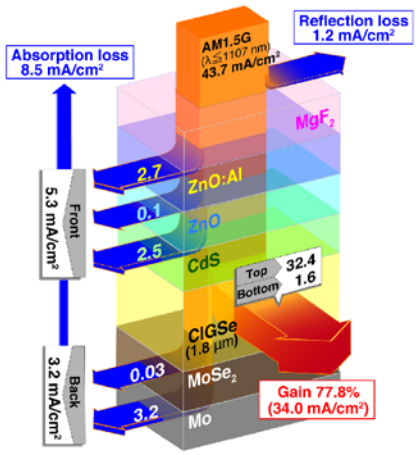


図 2. $CuInGaSe_2$ 太陽電池における反射・吸収損失

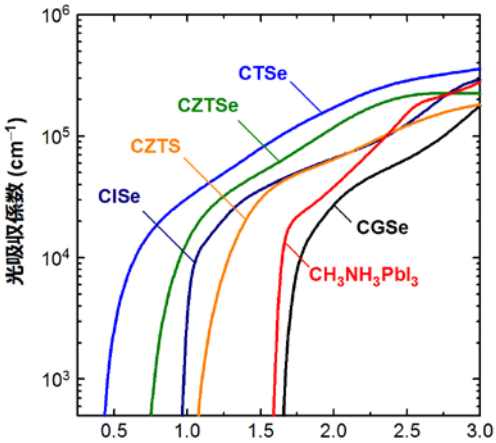
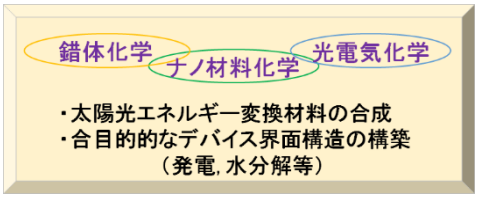


図 3. 各種太陽電池材料の光吸収特性.

氏名： 萬関　一広 （エネルギー創造分野・キャリア・ストレージ分野）

研究概要：

光エネルギー変換デバイス（特に太陽電池および水分解光触媒）の技術革新をねらう。ナノ材料化学・金属錯体化学のエッセンスを融合して、光吸収や電極機能を担う新しい物質群を創出する。ペロブスカイト太陽電池、発光素子、太陽光水分解等に幅広く展開可能なデバイスの材料積層構造・評価法を生み出し、高性能化技術プラットホームを構築する。また、産業界への展開を志向し、環境調和型の材料合成や溶液法による安価な素子製造プロセス等の基礎を開拓する。

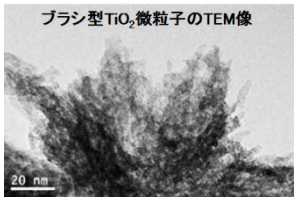


●多孔性酸化チタン電極を活用する有機系太陽電池（色素増感系）・その他の次世代太陽電池に関する研究

～独自アプローチ～

「遷移金属クラスターを基盤とする金属酸化物ナノ粒子の結晶成長制御」

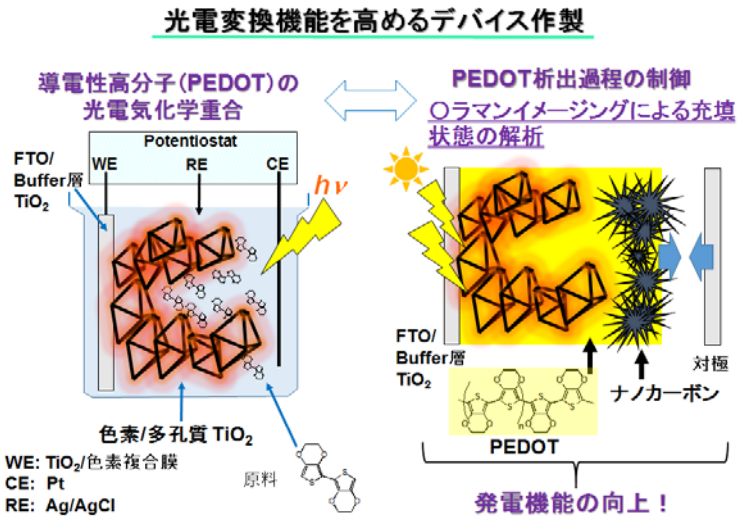
（例）光吸収物質/高表面積多孔質 TiO_2 複合電極の開発[1]



「多孔質 TiO_2 薄膜内への導電性高分子の光電解重合およびラマンイメージング反応解析」

（例）導電性高分子やナノカーボンを用いる有機無機コンポジット材料の創出と新型デバイス構造の開発[2]

今後、新規光吸収物質や電極材料を開発・導入し、高性能技術の体系化を図る。



●可視光応答型水分解光触媒に関する研究

～独自アプローチ～

「複核ヘテロ金属錯体の合成と可視光応答型光触媒の開発」

（例）$LaFeO_3$, $LaTiO_2N$ 等の酸化物および酸窒化物材料の3D 電極構造最適化

最近の例：

[1] K. Manseki et al., ‘Structure identification of Ti(IV) clusters in low-temperature TiO_2 crystallization: creating high-surface area brush-shaped rutile TiO_2’, *CrystEngComm*, 19 (2017) 5844-5848.

[2] 萬関一広, 平野智也, 杉浦隆,「光電変換素子およびその製造方法」, 特開 2018-049941.

氏名： 宮地 秀和 （エネルギー創造分野）

研究概要：超分子相互作用を利用した新規色素の合成と色素増感太陽電池への応用

我々の研究室では、光合成の光捕集アンテナ錯体のクロロフィル分子が分子間相互作用により吸収域を拡大している点に着目し、アンテナ錯体の構造を模倣したポルフィリン超分子を合成し、色素増感太陽電池を作製した。ポルフィリン分子間の遷移双極子相互作用(face-to-face, head-to-tail)を用いることで色素の吸収波長が短波長シフト(blue shift)と長波長シフト(red shift)を起こし、酸化チタンに吸着した色素の吸収域が拡大することで色素増感太陽電池の光電変換効率が向上することを見出した（図1）。

さらに、アニオン認識場を有する新規色素を合成し、アニオンとの相互作用による色相変化を利用した色素増感太陽電池の開発を試みた（図2）。この色素はアニオンとの相互作用により、吸収波長が長波長シフト(red shift)を起こし、赤から青に色相が変化した。この色素を酸化亜鉛電極に吸着させ色素増感太陽電池を作製したところ、光電変換効率が向上することを見出した。これは、アニオンとの相互作用により長波長域に吸収の拡大が起こったためであると考えられる。

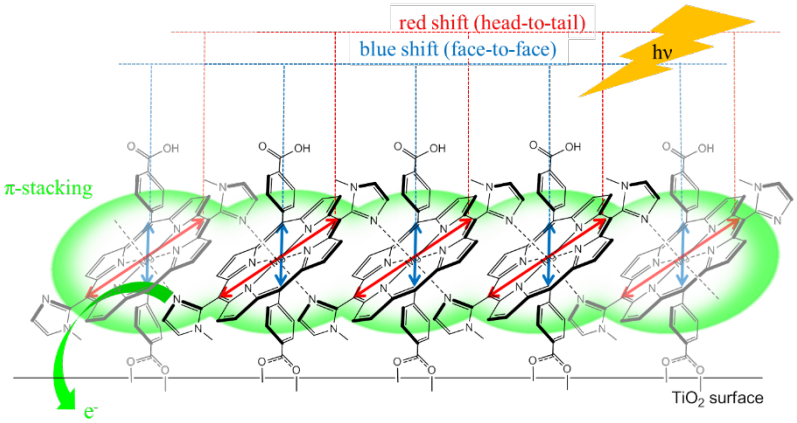


図1 ポルフィリンの分子間相互作用を利用した色素増感太陽電池

(J. Fujimoto, K. Manseki, H. Miyaji, *Chemistry Letters*, 2014, **43**, 207-209.)

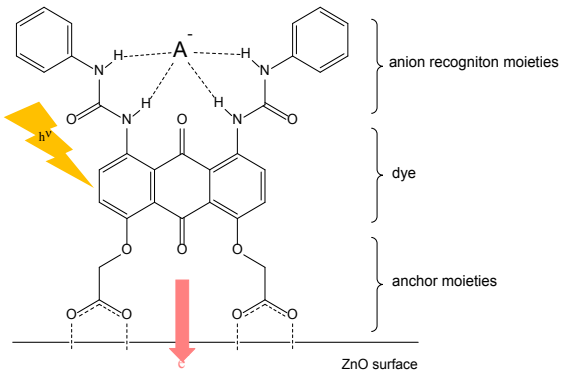


図2 アニオンとの相互作用を利用した色素増感太陽電池

(H. Miyaji, S. Sawada, J. Fujimoto, T. Yoshida, *Chemistry Letters*, 2016, **45**, 881-883.)

氏名： 李　根燮（イ　グンソップ）（エネルギー創造分野）

研究概要：

近年、飛行機は貨物の高速輸送および乗客の長距離移動にとって不可欠な手段となっています。そのため、多くの研究者は飛行機のエネルギー効率を向上させるため研究を進めています。空気と飛行機の間での摩擦抵抗は飛行機の全体抗力の約半分を占めるため、摩擦抵抗の低減はエネルギー効率の大きな向上につながります。したがって、飛行機の後退翼上の流れを理解し流れをコントロールすることが重要になります。しかし、後退翼は、流出の方向と圧力勾配の方向が揃っていないため、境界層が 3 次元になることから、早い段階で乱流に遷移するという欠点があり、乱流遷移が早く起きる理由も明らかになっていない状況です。私の研究は、回転円盤流の遷移過程に現れるらせん状の渦構造を数値シミュレーションにより調べています。特に、3 次元境界層での不安定性の性質について詳細に検討しています。

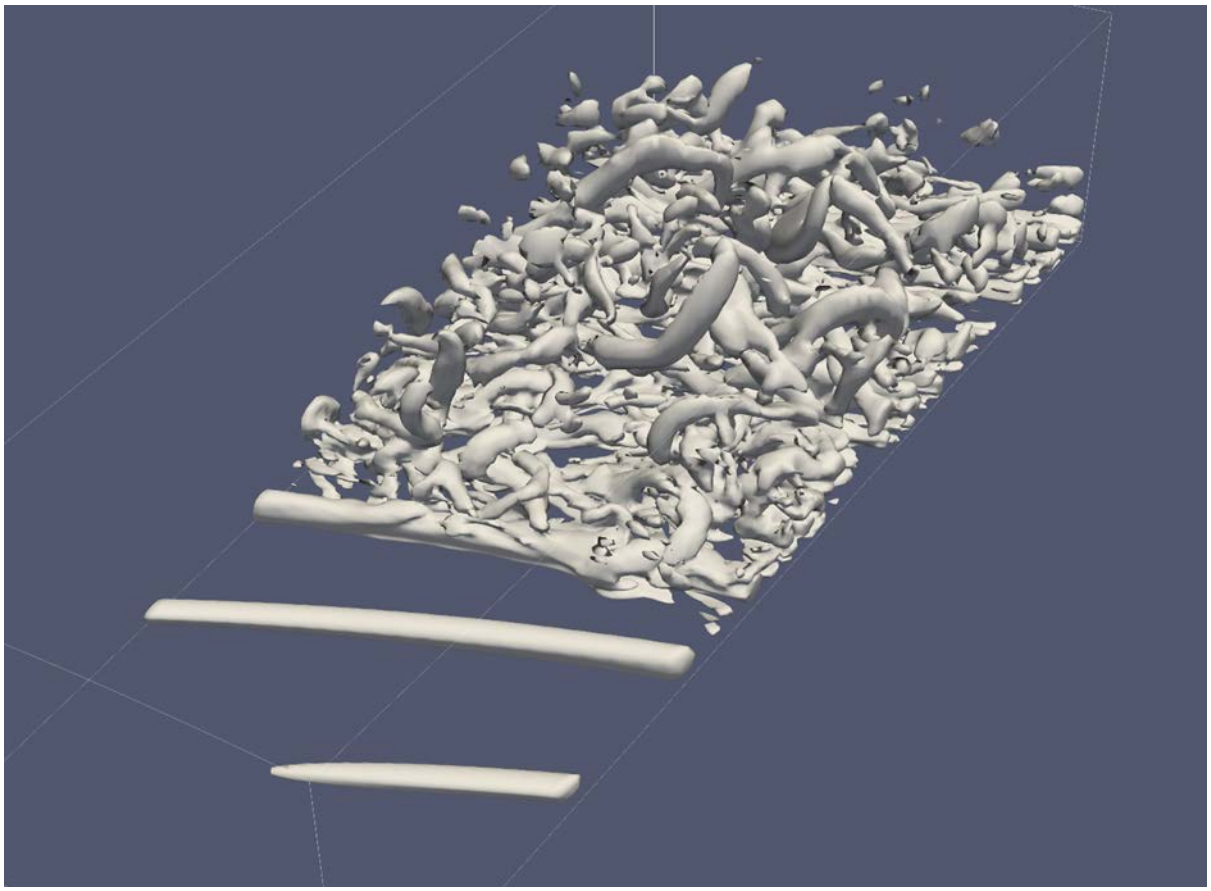


図1. 回転円板流れに生成される渦の可視化

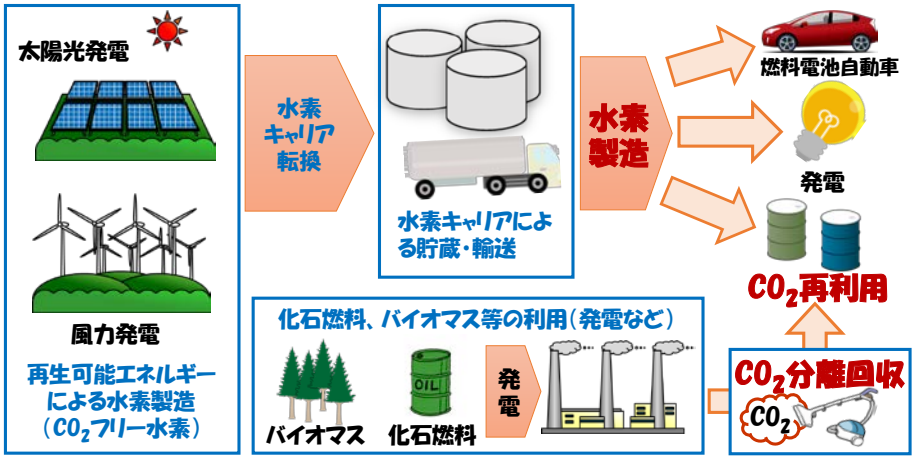
＜キャリア・ストレージ分野＞

氏名： 上宮　成之，宮本　学 （エネルギー創造分野・キャリア・ストレージ分野・新産業創出分野）

研究概要：

持続可能社会の実現に向けたCO_2フリー水素製造・利用技術開発

水素への期待の一つとして、出力変動のある太陽光発電や風力発電などの再生可能エネルギーをさらに活用するためのエネルギーキャリア（輸送）・ストレージ（貯蔵）媒体として利用するエネルギーネットワークの構築が挙げられる。さらには、CO_2フリー水素によるCO_2の再利用は持続可能社会の構築に大きく寄与するキーテクノロジーである。



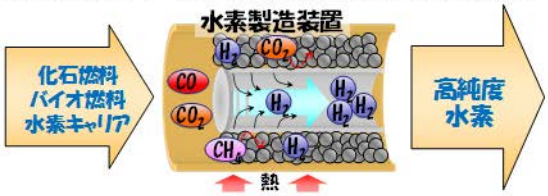
研究課題

高効率水素製造技術
- 触媒開発
- 水素分離膜開発
- 膜反応プロセス開発

CO_2再利用技術
- 触媒開発
- 膜反応プロセス開発

CO_2分離回収技術
- 吸着剤開発
- 分離膜開発

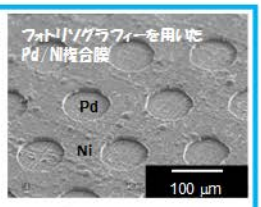
各種水素キャリアからの高効率水素製造

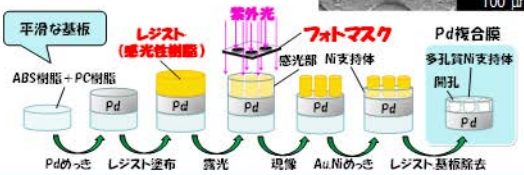


- 水素生成と水素分離を同時に実施
- 従来の反応器を超える水素収率
- 高い目的生成物選択性

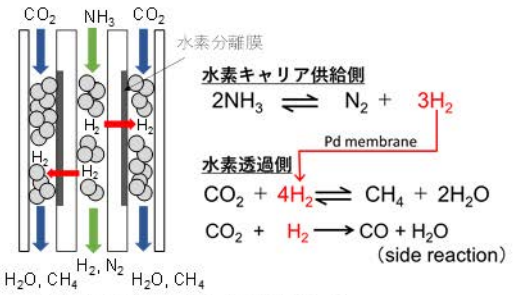
水素分離膜の高性能化

- Pd膜の薄膜化による水素分離性能の向上
- Pd膜の機械的強度の向上





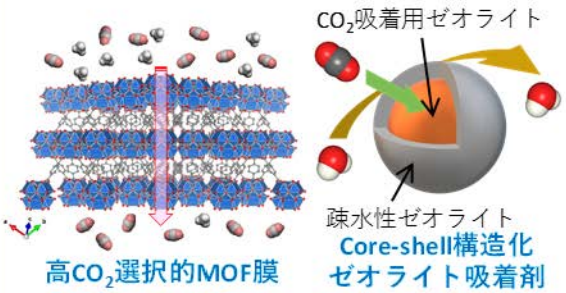
膜反応器による反応の複合化



- 膜反応器による反応の複合化
- 水素キャリアからの水素生成とCO_2のメタン化を一段で実施
- 吸熱、発熱反応の組み合わせによる反応熱の有効利用

多孔質材料を用いたCO_2分離技術

- ゼオライトのCore-shell構造化により、水蒸気共存下でもCO_2吸着剤として使用可
- Metal organic frameworkを膜素材とした高性能CO_2分離膜



氏名： 宇田川 太郎 （キャリア・ストレージ分野）

研究概要： 水素原子を精密に取り扱う新しい量子化学計算手法の開発と応用計算

水素原子は、様々な分子中に存在し、水素結合や水素移動反応により、分子構造や生体分子の機能発現に関わる重要な役割を果たす。また、近年ではクリーンなエネルギー源として、水素エネルギーの研究が盛んに進められている。

水素原子は最も軽い原子核を持つため、原子核の量子効果（量子揺らぎ）が顕著である。また、最も軽い原子核である水素原子は、その同位体である重水素原子との質量比が 2 倍と大きく、しばしば興味深い同位体効果を発現する。一方、近年のコンピュータ性能の向上により、量子化学計算はその適用範囲を広げ、それまで未解明であった様々な化学現象・物理現象の本質の解明に素晴らしい業績をあげている。しかしながら従来の量子化学計算では、電子に比べて重い原子核の動きは考慮せず、固定された原子核の作る場の中での電子状態のみを取り扱うため、例えば同位体効果のような原子核の量子揺らぎが重要となる現象を取り扱うのは不得手である。

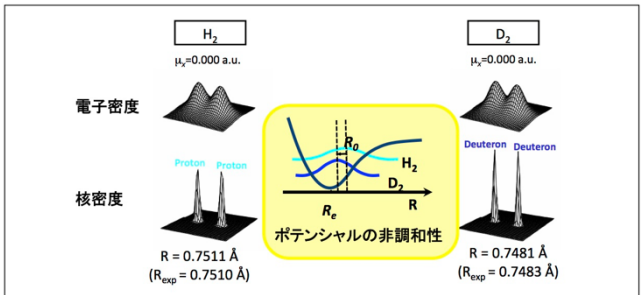


図 多成分系理論により計算したH_2、D_2中の電子密度分布および原子核密度分布

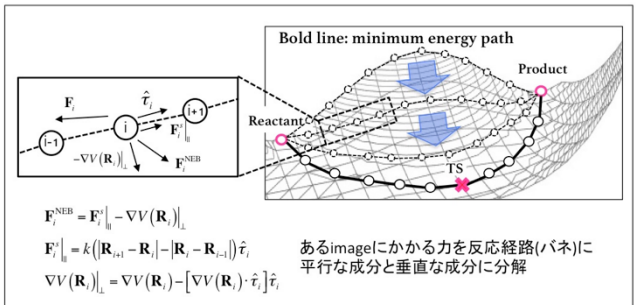


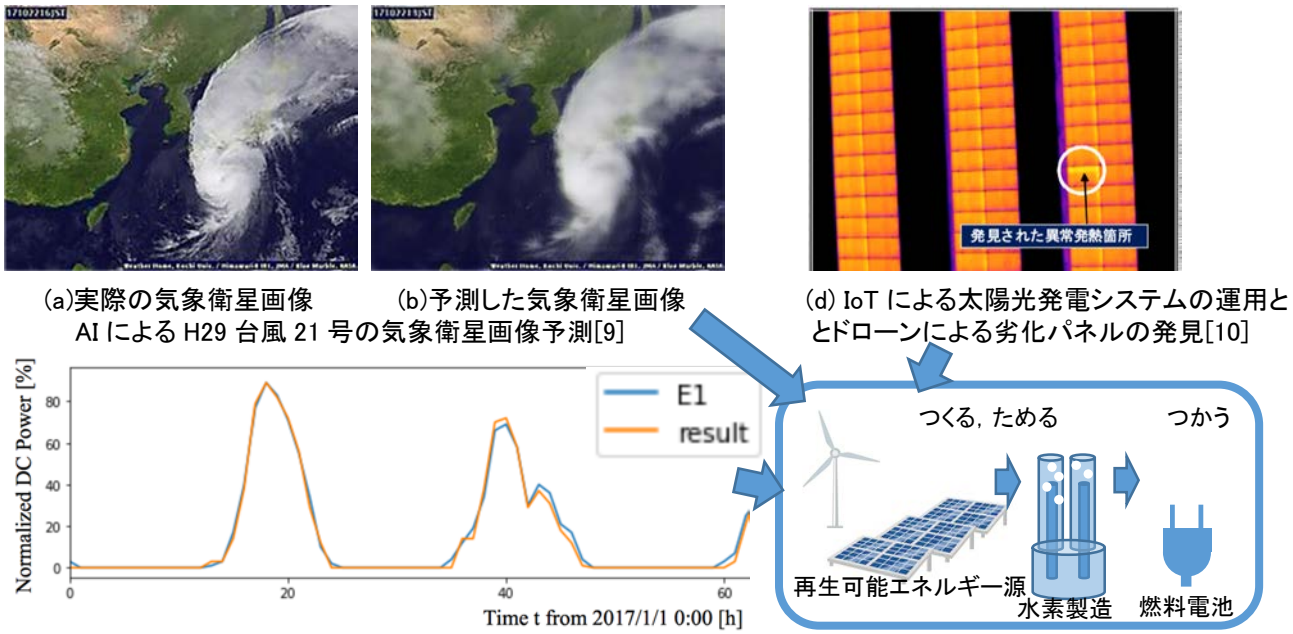
図 NEB法概念図: 反応経路上に発生させた複数のimageをバネで繋いで最適化することで反応経路を自動的に探索

そこで我々は、一般的な量子化学手法の取り扱いを電子だけでなく、軽い原子核にまで拡張した多成分分子理論（MC_QM 法）を開発してきた。特に近年では、MC_QM 法を用いた化学反応解析手法（MC_QM-CI-NEB 法）を確立し、分子の安定構造に対する原子核の量子効果のみでなく、化学反応に対する水素原子核の量子効果までも考慮することを可能とした。これにより、反応中の水素原子の電子状態を、より柔軟に表現できるようになっただけでなく、化学反応における同位体効果まで解析することが可能となった。今後は、開発した手法を用いた様々な応用計算を展開したいと考えている。

氏名： 吉田　弘樹，亀山　展和　（キャリア・ストレージ分野・エネルギーシステム統合分野）

研究概要： 再生可能エネルギーに関する研究の概要を**図1**に示す。太陽光発電を中心とした再生可能エネルギー源の運用・解析・回復をしており[1]-[10]，発電エネルギーの電気分解による水素として**「つくる」「ためる」**の研究を進めている。その水素は燃料電池によって**「つかう」**ことにより，電力と水とが得られる。

AI を用いた気象衛星画像の予測を行っており，図(a)に実際の画像を図(b)に予測した画像を示す。太陽光発電システムに IoT を用いた運用をしており，AI を応用して図(c)に示すように発電量の予測値 result と実際の発電量 E1 を比較することで，システムの劣化診断を行っている。異常が認められた場合には，図(d)に示す様にドローンによる赤外画像撮影で，メガソーラー中の劣化パネルを発見する[9],[10]。電圧誘起劣化現象によって劣化した太陽電池の性能回復技術も開発している[1],[2],[4]-[6],[8]。また，太陽電池舗装道路の研究も実施している[7]。これらの技術の電気分解による水素発生への応用を進めている。



(a)実際の気象衛星画像　(b)予測した気象衛星画像
AI による H29 台風 21 号の気象衛星画像予測[9]

(d) IoT による太陽光発電システムの運用とドローンによる劣化パネルの発見[10]

(c) IoT による太陽光発電運用と AI による劣化診断[9][10]

(e)「つくる」,「ためる」,「つかう」エネルギーシステム

図 1 再生可能エネルギーによる「つくる」,「ためる」,「つかう」

参考文献

[1] 吉田，野々村，大橋，「太陽電池の性能劣化回復方法」，特願 2016- 56313 (2016).
[2] 吉田，野々村，大橋，太陽電池の性能劣化回復装置および方法」，特願 2017- 36400 (2017).
[3] ジョセマヌエルソアレスデアラウジョ，吉田，“Forecasting of Solar Radiation and Solar Energy in Hera, Timor Leste ”，電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会，A2-1 (2017).
[4] 安田，吉田，志知，「光加熱・逆バイアス印加を応用した電圧誘起劣化(PID)の回復」，電気・電子・情報関係学会東海支部連合大会，H3-3 (2017).
[5] Yoshida, Shichi, Ohashi, Nonomura, et al., “Observation of reverse biased electroluminecence from local shunt of p-type c-Si solar cell”, 27th International Photovolataic Science and Engineering Conferece, (2017).
[6] 吉中，吉田，野々村，大橋，「太陽電池の性能劣化を回復する装置およびその方法」，特願 2017-164885 (2017).
[7] 野々村，吉田，大橋，及川，「再生可能エネルギー(太陽光)を活用した 発電舗装に関する基礎的研究 」，第 32 回日本道路会議，3105 (2017).
[8] 吉田，「劣化した太陽電池を高速回復する技術」，環境ビジネス特別号，(2017.11).
[9] 吉田，「機械学習を応用した気象予測と太陽光発電所の劣化診断」，応用気象シンポジウム 2017 (2017).
[10] 次世代太陽電池パネル保守点検技術開発研究会,http://jp-eco.co.jp/assets/images/solution/kouhou.pdf

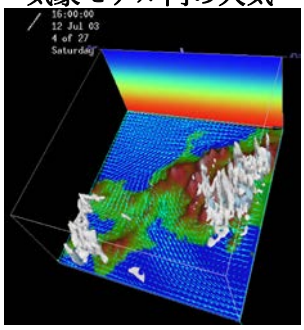
＜新産業創出分野＞

氏名： 小林 智尚，吉野 純 （エネルギー創造分野・新産業創出分野）

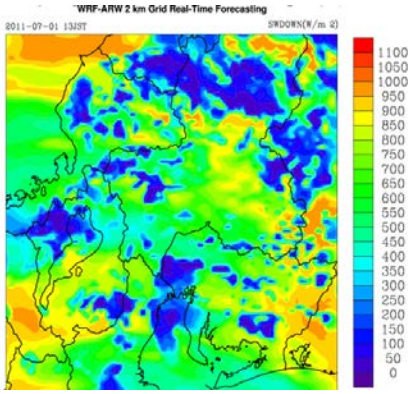
研究概要：気象予報データによる太陽光発電量予測技術

・気象予報モデルによる日射強度予測・太陽光発電量予測

気象モデル内の大気



東海地方の予測日射強度



何 ワット？

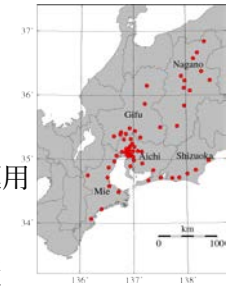
日射予測

→ 戦略的な系統運用

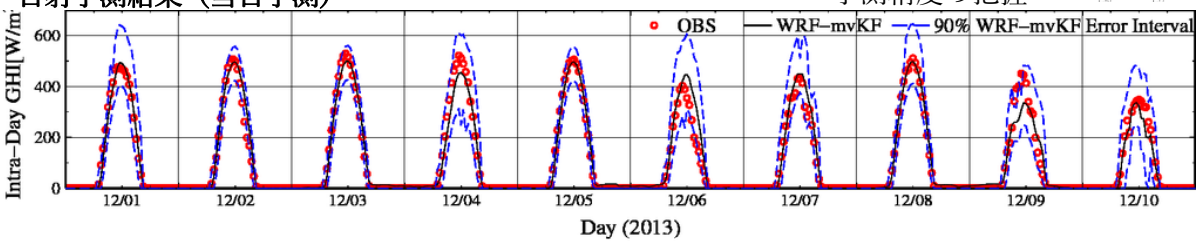
予測＋予測幅

→ 予測精度の把握

観測対象地点



日射予測結果（当日予測）



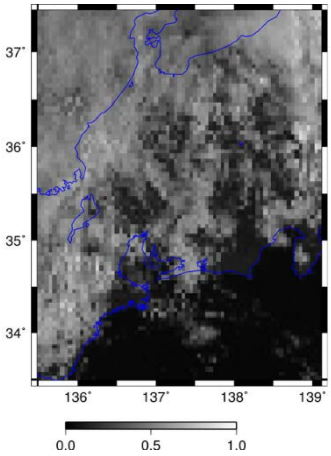
・予測高精度化への取り組み

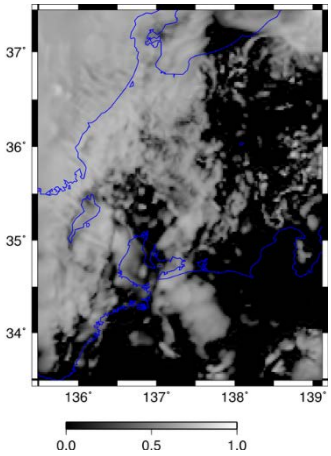
気象衛星画像の活用

衛星画像 ←→ 計算画像

→ リアルタイムで予報誤差を修正

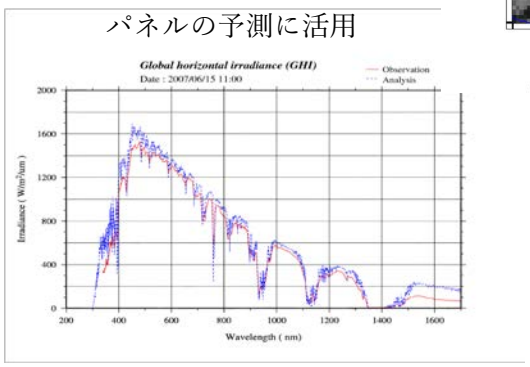
気象衛星の雲画像 ←→ 気象モデルで計算された雲画像





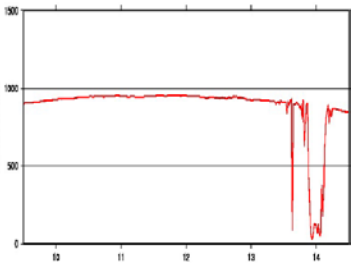
日射スペクトルの推定

→ 感度特性の異なる太陽光パネルの予測に活用



日射強度短期変動の予測

→ 急激な日射変動を予測



氏名： 應　江黔 （新産業創出分野）

研究概要：

太陽光発電の普及を考慮した都市形態・交通システムの最適化の研究を行っています。

都市は、人口が集中し、鉄道を主な交通手段とする大都市と、自動車交通に適した分散型の小都市という典型的な類型があります。この二類型の都市形態はそれぞれ有利な点と不利な点があります。鉄道によって支えられる高密度の中心都市は、交通に費やされるエネルギーが平均的に少なく、集積の経済・密度の経済などの優位性があります。地方の小都市・地域は、自動車依存や低密度の居住形態に起因する環境的・社会的課題がある一方、太陽光発電が普及しやすい利点があります。鉄道、次世帯自動車、太陽光発電などの交通・エネルギー技術は、人口・経済活動の集中・分散などと相互作用して、都市・地域形態、交通システムを形成していく重要な要素です。環境・エネルギーの側面と、経済活動や住民生活など社会的側面が調和した望ましい都市・地域の形態と望ましい交通システムを形成していくためには、このような新しいエネルギー・交通技術の利用を考慮した都市・地域・交通政策を講じることが不可欠です。

従来、都市・地域・交通政策の分析のための解析モデルが研究され、一部実用化されてきています。従来のモデルを拡張して、太陽光発電を新しい土地利用の方式として組み入れ、都市・交通システムの解析手法、最適化手法の開発を行っています。

氏名： 高木　伸之、王　道洪、ウ　ティン （新産業創出分野・エネルギーシステム統合分野）

研究概要：
電力系統で発生する事故の半数以上が落雷により引き起こされています。また、近年注目されている風力発電の設備も落雷による事故が多発しています。より完全な雷事故対策の確立を念頭に、各種雷観測実験を通じて、雷の監視、予知、制御技術の開発に挑戦しています。また、次世代の電力システムとなるスマートグリッドの確立に向け、スマートグリッドの雷害対策と太陽光発電システムに関する研究も行っています。以下は研究テーマごとの概要を述べます。

（1）フロリダにおける自然雷とロケット誘雷の最終雷撃過程の観測
世界最高速の光学撮影装置を用いて、フロリダにおける自然雷とロケット誘雷を撮影する。撮影されたデータを解析することにより、落雷の雷撃瞬間の放電過程を明らかにし、避雷針の高効率化を図る。
（2）雷放電の3次元進展様相の可視化技術を用いた冬季雷雲の観測
雷放電は秒速数百キロメートルを超す速い現象だけでなく、雲内に隠れている部分も多いため、その3次元的な進展様相の観察が極めて困難である。本研究では雷放電の3次元進展様相を可視化する技術を確立すると共に、冬季雷雲における各種充電・放電現象の徹底解明を目指す。
（3）ドローンを用いた誘雷技術の開発
雷雲の電気を思うまま放電させることができれば、電力ネットワークにおける雷事故をはじめ、すべての雷事故をなくすことができる。本研究ではドローンを用いてそのような夢のような雷雲放電技術を開発する。
（4）雷雲の電界の簡易測定法の開発
雷雲電界を3次元空間で測定できれば、落雷の時刻、場所と強弱を予知できるようになる。本研究では、雷雲電界の3次元空間での計測方法を開発し、落雷の予知を試みる。
（5）スマートグリッドにおける雷害対策
化石燃料の枯渇問題や、地球温暖化などの環境問題を解決する切り札として、風力発電、太陽光発電といった自然エネルギーシステムがある。自然エネルギーシステムは密度が決して高くない自然エネルギーを入力としているため、高出力を得るには、大型化が欠かせない。一方、これらの点在する自然エネルギーシステムを有機的に連携するためにはスマートグリッドが欠かせない。大型且つ連携したシステムには落雷の確率が自然に増え、雷被害の問題がより深刻となる。本研究は、雷雲環境下における自然エネルギーシステム、とりわけ、大型風車について総合計測を行うことにより、スマートグリッドの雷害対策を構築する.
（6）太陽光発電システムの簡易診断法の開発
太陽光発電は猛スピードで普及が進んでいる。近い将来、設置された太陽光発電システムにおいて様々な経年劣化、故障が必ず出てくると予想される。それらの対策として、設置状態での太陽光発電システムを効率よく診断する技術が求められている。本研究では瞬時に太陽光発電システムの状態を診断できる方法を開発する。

氏名： 西田　哲 （新産業創出分野）

研究概要：

プラズマを利用した薄膜形成、微粒子作製、表面処理を行っている。以下にいくつかの研究テーマ概要を紹介する。

・シリコンナノ粒子凝集体の高速作製技術の開発

二次電池の負極材料として利用が期待されているシリコンは充放電による体積変化が大きいためナノ構造にする必要がある。本研究では疎なナノ構造を持ったシリコンをプラズマ CVD で高速に作製することを目的としている。この凝集体は、数十 nm の微粒子が凝集したナノ構造を持っており負極材料として利用可能である。本研究では通常のプラズマ CVD と比較し、ガス供給方法を工夫することにより、図 1 に示すように 3cm 角の基板上に 1 分以内に数 μm の厚みの凝集体を平滑に堆積することに成功した。

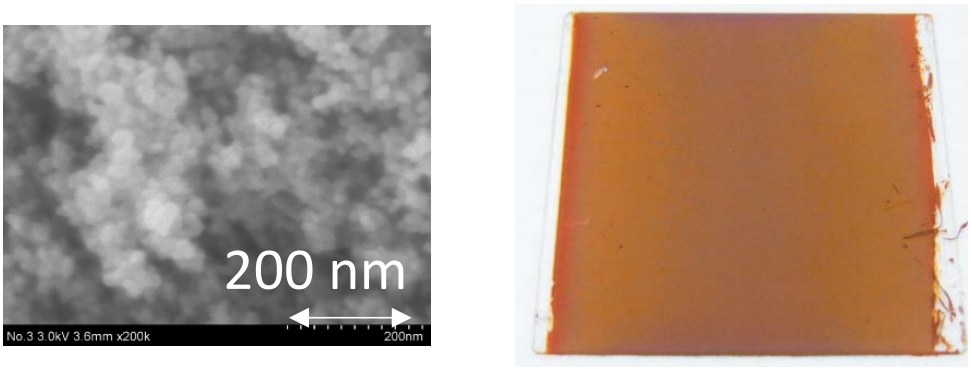


図 1　作製したシリコンナノ粒子凝集体とその断面 SEM 写真

・プラズマ照射による炭素表面改質機構の解明

炭素繊維は複合材料などの原料として使用されるが樹脂の含侵性等の向上のための表面改質が望まれている。本研究ではプラズマ照射により炭素の表面改質メカニズムを明らかにすることが目的である。炭素表面に Ar プラズマを照射すると図 2 に示すように照射前後で水の接触角が大きく変化し表面が親水性化したことがわかる。この際、表面の物理形状の変化は微小で、表面が酸化されることにより親水性が変化したことが分かった。

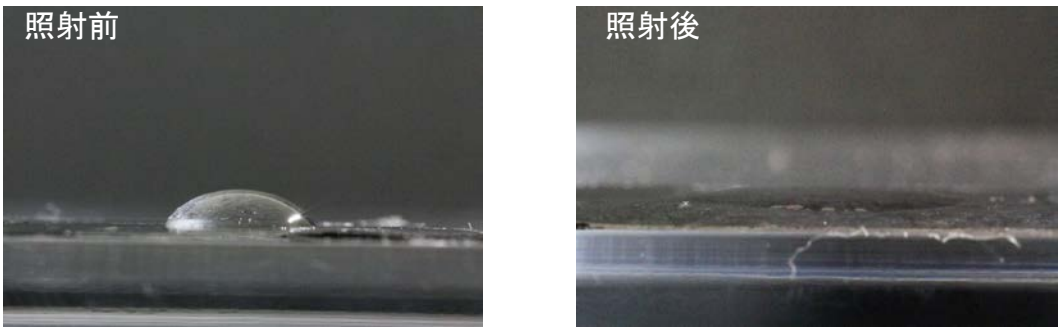
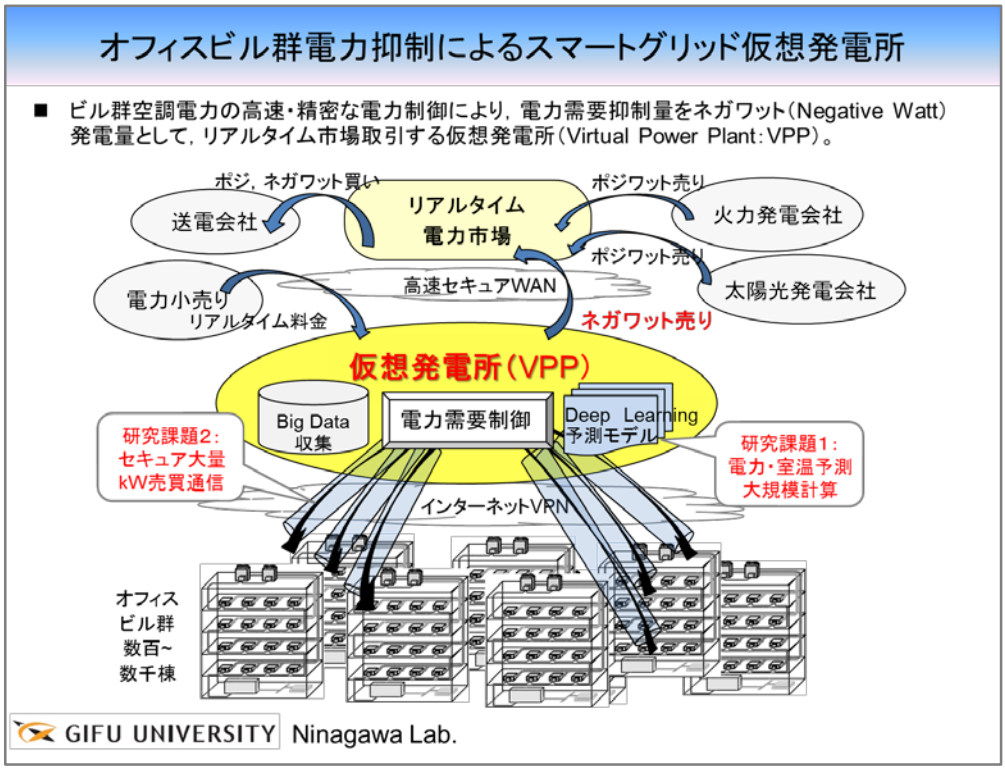
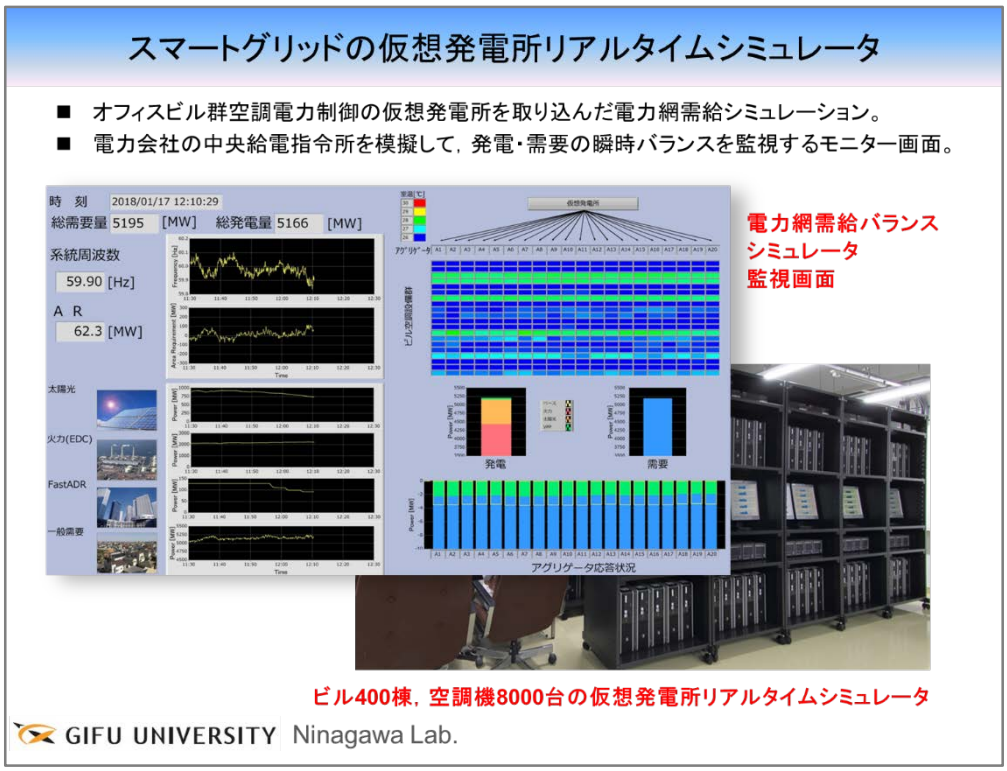


図 2　プラズマ照射によるグラファイトシート表面での水の接触角の変化 （左：未照射、右:照射後）

氏名： 蜷川　忠三（新産業創出分野・エネルギーシステム統合分野）

研究概要：





氏名： 山田　啓介 （新産業創出分野）

研究概要：

研究分野は、”スピントロニクス”と呼ばれる固体中の電子が持つ「電荷」と「スピン」の両方を工学的に上手く利用・応用した磁気物性に関する分野の基礎研究を行っています（図 1）。特に、サブミクロン・ナノスケールの磁性材料の持つ特徴的なスピン構造を舞台にした磁気物性の探求に取り組んでいます。これらの研究は、新規の磁性材料の創出や機能性向上、さらには次世代スピンデバイスにつながる基礎的研究です。

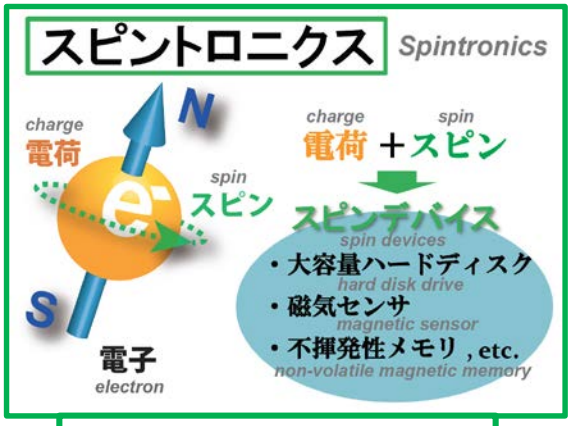


図 1 スピントロニクスの概要

具体的な研究内容は、以下になります。

（1）実験によるサブミクロン・ナノスケールの磁性細線、磁気ドット、磁気微粒子などの新規磁性材料探索と物性評価

（2）数値シミュレーションを用いた外場(磁界、電流、電界, etc.)によるスピンダイナミクスの解明

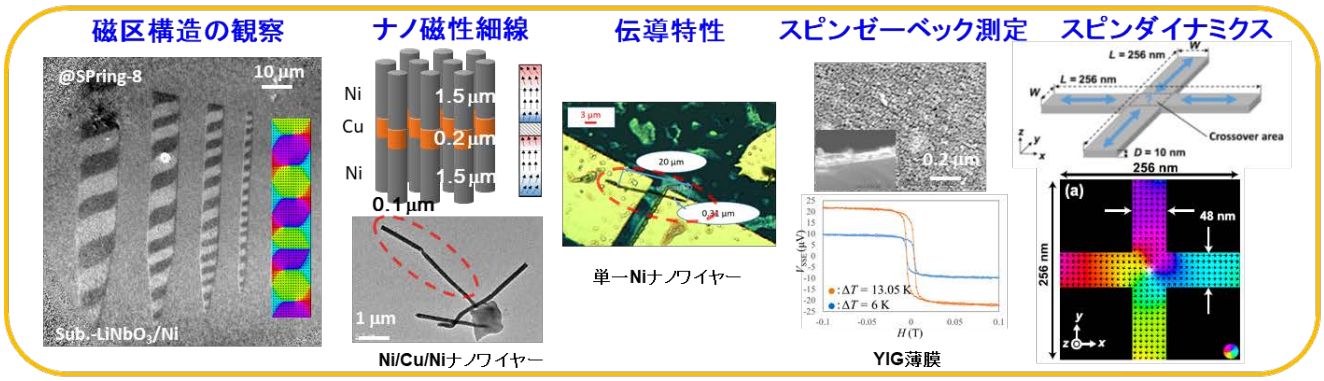


図 2 主な研究のテーマ

（1） 図 2 の「磁区構造の観察」では、強誘電体基板の上に成膜したサブミクロンの磁性細線中に現れる特徴的な磁区構造である縞状磁区を観察し、磁区構造の外場（磁場、電流）依存性について調べています。「ナノ磁性細線」に関する研究では、水溶液電着法とナノオーダーの細孔径を持つテンプレートにより、ナノ磁性細線を作製し、その細線の磁気抵抗などの「伝導特性」を調べています。また、熱エネルギーを電圧に変換する熱電変換に関する研究も行っています。ナノ粒子から成る磁性薄膜を作製し、温度勾配を試料に与えることにより電圧が発生する「スピンゼーベック効果」に関して調べています。

⑵ 磁化（スピン）の動的特性や磁化構造に関する解析を行うことができる数値計算である「マイクロマグネティクスシミュレーション」を用いて、磁区構造の解析やスピンダイナミクスについて調べています。図 2（右端）では、十字型の構造を持つ磁性細線のシミュレーションを行い、中心部の磁気渦コアの向きや磁化の回転方向を調べることで、新規に求まる物理量の解析を行っています。

氏名： 尹 己烈 （新産業創出分野）

研究概要：近年、多機能化を行うために異種金属接合が注目されている。その中で多くの自動車メーカーでは消費エネルギー量を削減するために様々な取り組みが行われている。一般的に自動車の質量が100kg 軽量化されると燃費は 7～9%改善される。そのため自動車の燃費を改善する方法として強度を保ちながら軽量化することが求められている。現在、材料費や強度の観点から自動車のボディなどには多くの鋼が使用されている。しかし、鋼は密度が高いため自動車の質量の増加に繋がる。そこで、鋼の約40%の密度と約 2 倍の 比強度を持つアルミニウム合金を取り入れることで自動車を軽量化することが出来る。しかし、アルミニウム合金は鋼に比べて引張強度が低くコストが高いため、自動車部品全てをアルミニウム合金で置き換えることは困難である。

一方、自動車メーカーの マツダ株式会社では鋼とアルミニウム合金の接合に適用できる摩擦攪拌点接合 (FSSW)という方法を開発し、実用化している。しかし、FSSW には継手強度が 低く、接合時間が長いという問題点があり、従来の製造ラインに新たな工程や設備を追加しなければならない。また、抵抗スポット溶接では鋼とアルミニウム合金の溶接界面に脆弱な金属間化合物層が形成されるため、継手強度が低く溶接が困難である。私の研究室では鉄ーアルミ合金間に母材破壊できる溶接メカニズムを把握し、抵抗スポット溶接や突合せレーザー溶接に成功している。

その他にも鉄と銅の溶接や金属の非金属の接合など様々な接合に取り組んでいる。

氏名: 吉田 憲充 (新産業創出分野)

研究概要: 本研究室では主として太陽電池に関する研究開発を行っています。環境問題にも寄与可能な新しいエネルギー社会の創造に貢献するための研究と、環境エネルギー産業分野で貢献できる人材教育を行っています。

研究テーマ:ペロブスカイト系太陽電池に関する基礎的研究

近年 20 %を超える変換効率が報告されている有機無機ハイブリッド材料 $CH_3NH_3PbI_3$を中心としたペロブスカイト系太陽電池材料に関し、更なる変換効率の向上に資するため、キャリヤー輸送層用材料も含めた作製法開発と基礎物性評価を行い、デバイス化に関する研究を行っています。

① 低コスト化のための無機正孔輸送層の作製と評価

正孔輸送層の移動度を向上させ、かつ、低コスト化を実現するため、スピンコート法やゾルゲル法などの溶液プロセスを用いて作製する Cu_2O に着目した研究を行っています。この材料の結晶性やキャリヤー輸送特性を評価して高性能な正孔輸送層を実現することにより、太陽電池の高効率化を目指します。

② 光熱変換分光法による欠陥評価の試み

光熱変換分光法の一種である光熱ベンディング分光法や光熱輻射分光法による光吸収係数スペクトル測定を用い、$CH_3NH_3PbI_3$ などにおける欠陥評価を目指しています。この研究により $CH_3NH_3PbI_3$ におけるバンドギャップ中の局在状態に関する理解を深め、高品質な $CH_3NH_3PbI_3$を実現するための作製条件探索に寄与します。

図は共振型光熱ベンディング分光法により作製した $CH_3NH_3PbI_3$ の光吸収スペクトルの測定例(○印)です。バンドギャップエネルギー(1.5 – 1.6 eV)以下の領域でも光吸収が観測され、欠陥の存在を示唆しているものと考えられます。

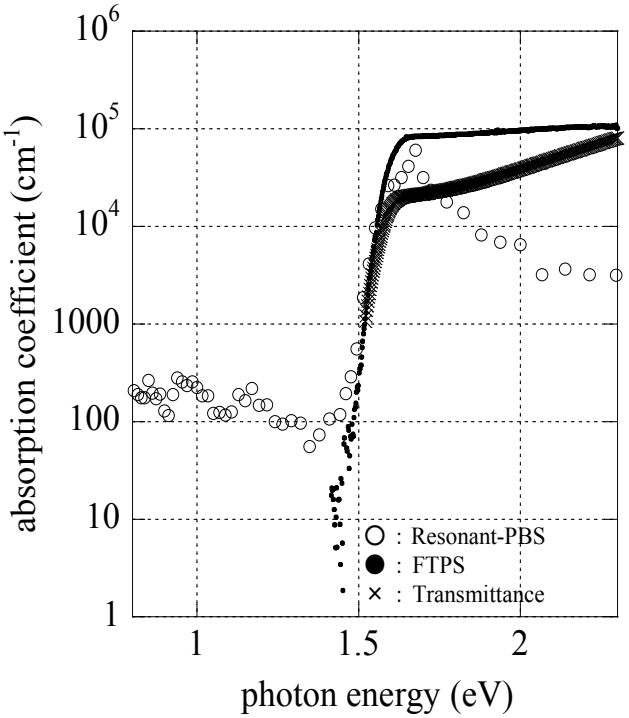


Figure 光熱ベンディング分光法により測定した $CH_3NH_3PbI_3$の光吸収スペクトル(○印)。FTPS(●印:伊藤研究室による測定)および分光透過率から求めた光吸収スペクトルもあわせて示す。

③ ヘテロ接合太陽電池用層状ペロブスカイト材料の作製と評価

シリコン系材料などとのヘテロ接合により高効率な太陽電池の実現を目指し、層状ペロブスカイト材料$(C_nH_{2n+1}NH_3)_2PbI_4$ の作製を行っています。今後はヘテロ接合太陽電池の実現のため、この材料の極薄化(10 nm 程度)を目指します。

氏名： 山家　光男 （新産業創出分野）

研究概要：再生可能なエネルギー有効利用として、太陽光エネルギーを電気エネルギーに変換する太陽光発電が挙げられる。本研究の目的は太陽光を別の光（レーザー光)へ変換するシステム開発である。レーザー光は単色で位相のそろった可干渉な波であり、この特性を使うと、幅広い応用が期待される。現在、市販されているSi単結晶・多結晶を使った太陽電池パネルの太陽光エネルギーから電気エネルギーへの変換効率は最大で30％である。太陽光を直接パネルに照射するのではなく、パネルが100％の光吸収可能な単色光を照射すれば、その照射光に対してほぼ100％の変換効率が得られる。図１に、人工光源（クセノンフラッシュランプ）の代わりに太陽光エネルギーを励起光源として用いた固体レーザー、つまり、太陽光から別の光に変換するシステムの概略図を示す。

太陽光励起レーザーの歴史は古く、レ-ザーが発明された 1960 年から数年経った 1966 年に Nd:YAG 単結晶を使った太陽光励起レーザー（波長 1064nm）が発振した。その時の太陽光エネルギーからレーザー光エネルギーへの変換効率は0．3％であった。それ以降 50 年余研究されて、2010 年代に Nd:Cr:YAG セラミックスを使って約10倍の3．6％の変換効率が得られた。このレーザー媒質を使った変換効率は約50％と推定され、実用化には程遠い効率である。

われわれはこの 10 年余、Nd と Cr を添加したガーネット単結晶やセラミックスの光学特性とレーザー発振特性の研究を行ってきた。太陽光励起において Nd のレーザー発振には Nd が吸収できなかった太陽光を Cr が吸収して、Cr から Nd へエネルギーを移動させることにより、変換効率が上がることを実験的に示した。しかしながら、励起エネルギーのパワーをさらに上げると、Cr によって増幅されたレーザー光は飽和し、さらに、その効率は減少した。この結果を図2に示す[1]。 現在、これらの研究成果[1]を基に太陽光励起レーザー用新規レーザー媒質の開発を進めている。

参考文献

[1] Mitsuo Yamaga, et. al. “Laser oscillation of Nd via energy transfer process from Cr to Nd in substitutional disordered garnet crystals codoped with Nd and Cr”, Journal of Luminesence **202** (2018) 393-402.

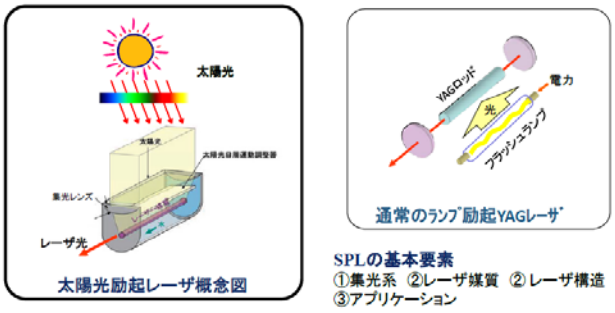


図１太陽光励起レーザー概略図

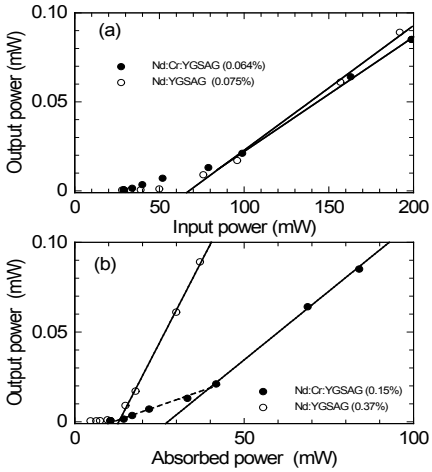


図 2　Nd:Cr:YGSAG 単結晶を用いたレーザー発振特性[1]

＜エネルギーシステム統合分野＞

氏名：石川　裕記　（エネルギーシステム統合分野）

研究概要：

昨今の我が国のエネルギー事情から，以下の対策が急務である。

・プラグインハイブリッド自動車（PHEV）や電気自動車（EV）の実用化にともない，将来的にこれら以外の負荷も含めた，電力系統への一時的な大量の重負荷接続

・東日本大震災以降に特に注目度が高くなっている，再生可能エネルギーによる大量の分散電源導入

・PHEV や EV，分散電源等に使用される高性能バッテリーの恒常的使用

これらを電力系統の安定化というキーワードで整理し，以下に着目した。

・電力系統の安定化：有効電力の需給バランスによる周波数安定化と無効電力による電圧補償が必要で，これを実現するには蓄電要素が不可欠

現在の蓄電要素の主流はバッテリーである。バッテリーには繰り返し充放電にともなう性能劣化問題があり，高性能バッテリーにはレアメタルを使用することから，恒常的使用および大量普及に課題があると予測している。そこで，蓄電要素として，レアメタルを使用せず，劣化の影響が非常に小さい電気二重層コンデンサ（EDLC）に注目した。EDLC はバッテリーよりエネルギー密度が小さい，耐電圧が非常に低いという問題があり，この対策が必要であることは明らかである。

図 1 に本研究で検討するシステム概念図を示す。入力は図2に示すような太陽光発電（PVG）や風力発電（WG）で，蓄電要素として EDLC をすべて並列接続したもの適用する。系統連系インバータは出力高調波の少ない電流形インバータを並列多重化し，系統安定化のための無効電力補償や電力の需給バランス制御を EDLC への充電および放電により行う。並列多重化により電流分担を小さくできるため， SiC-MOSFET の適用による数百 kHz の高いスイッチング周波数および直流リアクトルの小型化を目指す。PVG や WG から並列接続 EDLC への充電は低圧大電流出力ソフトスイッチングコンバータにより行う。ソフトスイッチング導入により，電力変換回路の高効率化，省エネルギーシステムの実現を目指す。

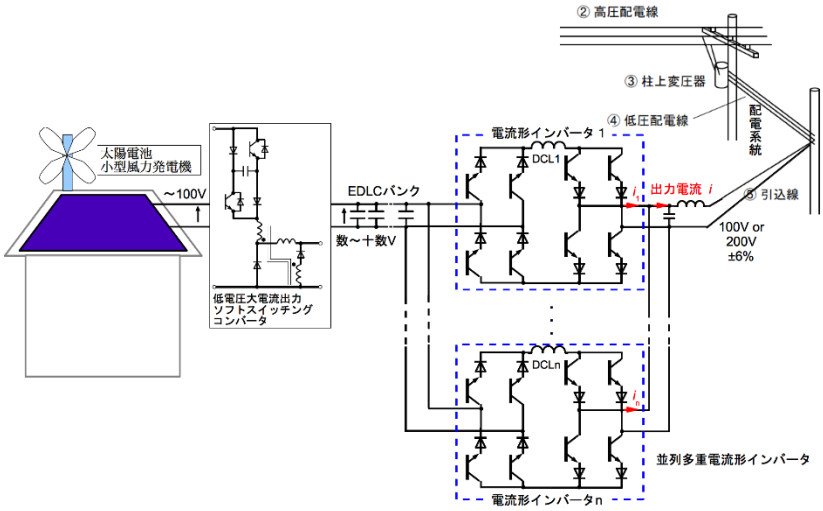


図１：本システムの概念図

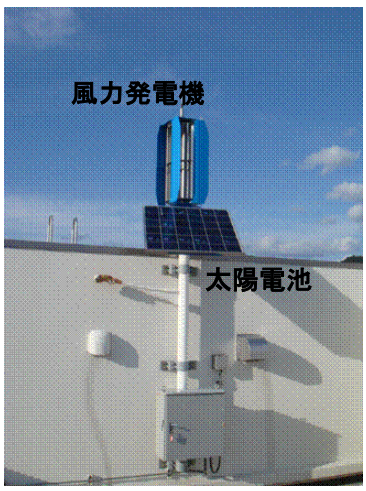


図２：太陽光・風力ハイブリッド発電システム

氏名： 傍島　靖 （エネルギーシステム統合分野）

研究概要：

本研究室では次世代太陽電池材料の一翼として、有機・無機の別に関わらず、薄膜材料に関する高品質化技術についての研究を行っている。近年では薄膜シリコン材料では、品質を維持したままで、薄膜シリコン系材料の高速製膜化技術の実現や、有機・無機ハイブリッド半導体の高光耐性確立に向けた研究を行っている。

<高速製膜薄膜シリコン系材料の高品質化技術開発>

微結晶シリコン(μc-Si:H)は可視光領域の光吸収係数スペクトルから、a-Si:H の数倍（単層構造デバイスの場合、2 μm 程度）の厚さが必要とされ、同材料には太陽電池材料としての高品質化と同時に、生産性の確保に向けた、毎秒ナノメートル程度の高速度製膜の技術開発が進められている。ナノ結晶構造の実現には、膜成長にむけたプラズマ気相生成条件が a-Si:H より繊細であり、従来の製膜速度は a-Si:H の約 10 分の 1 程度である。高速製膜には、数 Torr の高圧力、総ガス流量の増加、数 mm 程度の狭電極間隔などの条件を満たす必要があり、かつ不適な条件を用いた場合には、製膜室内に多量の不完全な Si 粒子が生成し、即時の室内汚染が生じるため、製膜条件の確立は非常に困難である。そこで、膜中欠陥の生成因子となる化学種を選択的に低減させる指標として、製膜時のプラズマ気相発光スペクトルの評価を行う事で、気相内の電子温度およびガス気相温度を用いた。発光スペクトル観測によるプラズマ気相の情報を基に、基板冷却を目的としたプラズマ生成電極作成や、単相膜における膜内欠陥分布評価などの独自評価を併せて行い、μc-Si:H 膜の高品質化に取り組んだ。現在までに 8 nm/sec 程度までの高速製膜・実デバイスでの動作を実現し、高品質化条件では、2 nm/sec 程度で 9%を超える変換効率を実現している。

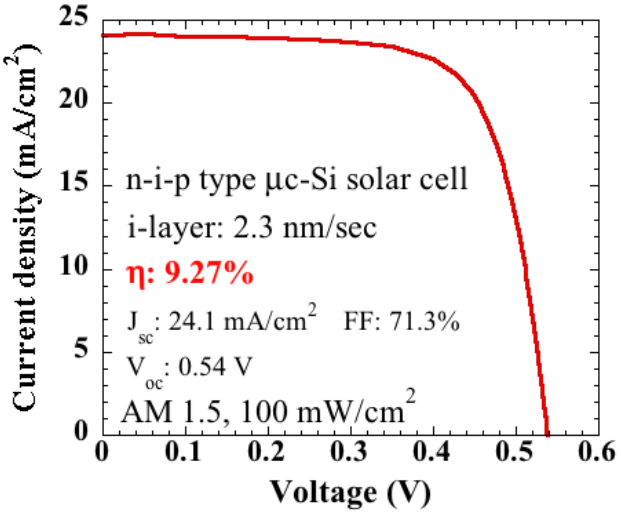


図 1.　高速製膜 μc-Si:H 太陽電池の J-V 特性

<有機・無機ハイブリッド Perovskite 太陽電池における光劣化抑止技術の開発>

ペロブスカイト太陽電池(PSC)は、有機太陽電池の一種である色素増感太陽電池の技術を応用し、数年で飛躍的に変換効率の向上を果たした材料である。本研究室では PSC の大きな課題である、長期信頼性についての研究として、太陽光スペクトル中の高エネルギー光が、連続光照射時における性能低下の鯨飲となっていることを突き止めた。今後、電気的特性評価などを通じ、安定動作条件での同太陽電池の真の性能、並びに他の太陽電池材料との多接合構造により、太陽光の全スペクトルを利用した高効率 PSC 実現に向けた要素技寿の探求を行ってゆく。

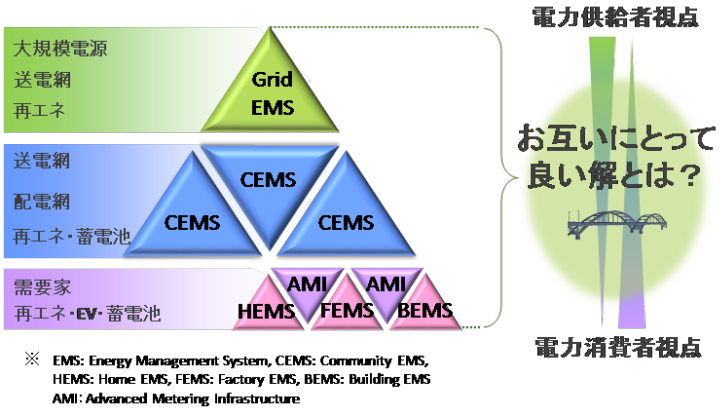
氏名： 高野　浩貴 （エネルギーシステム統合分野）

研究概要：

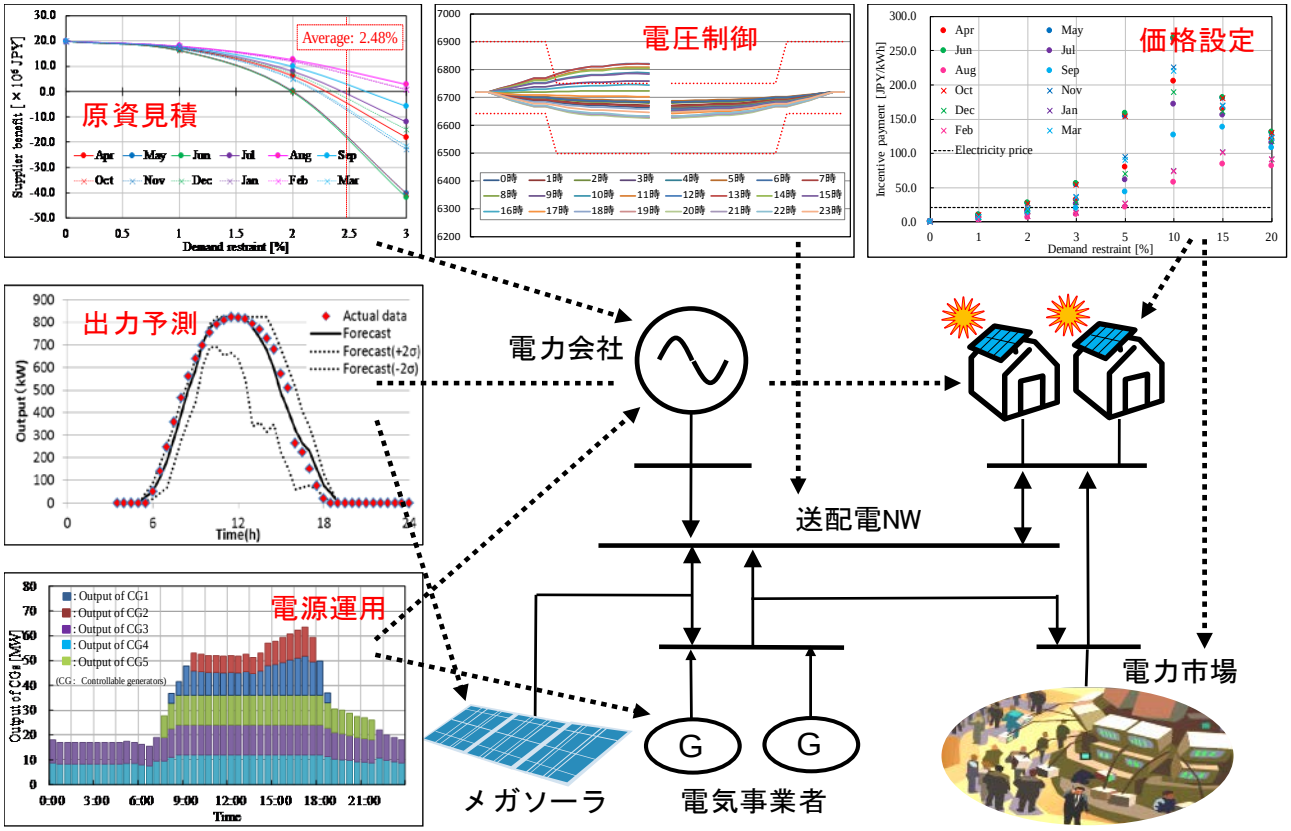
高度なエネルギーマネジメントを実現する技術の探求を通して，

- 電力供給者
  （全体の環境性，経済性，安定性を重視）
- 電力消費者
  （個々の利便性，経済性を重視）

の双方が**お互いに納得し得る（共生できる）**エネルギーシステム像を描き，社会に発信することを目指しています。



研究の例：



その他（送配電ネットワークの協調運用，電力需要予測，スマートメータデータ分析など）

研究のキーワード：

エネルギーマネジメント，スマートグリッド，スマートコミュニティ，次世代送配電ネットワーク，マイクログリッド，ディマンドリスポンス，最適化，機械学習

氏名： 宮坂　武志，　朝原　誠 （エネルギーシステム統合分野）

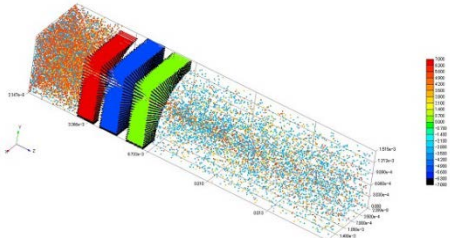
研究概要： 電気エネルギー、熱エネルギーの高効率利用システムの開発・評価研究

1. 電気エネルギー利用研究： プラズマの応用システムとしての電気推進ロケットを中心とした研究

1．1　プラズマ粒子シミュレーションコードの開発・運用

希薄プラズマの粒子シミュレーションコードによる解析により、プラズマ特性の詳細な把握が可能で、プラズマ応用システムの高効率化やその応用範囲の評価実施に適している。

本研究室では、小惑星探査機「はやぶさ」「はやぶさ2」で使用されている「イオンエンジン」の粒子シミュレーションコードをJAXA と開発した。本コードを用いて解析評価を進めている。



イオンエンジン粒子シミュレーションの例

1．2　高効率プラズマ利用装置の研究開発

高効率プラズマ利用装置の実験研究として、火星有人探査等用として大学間共同で実施している「ホールスラスタ・クラスタシステム」、小型衛星用の制御エンジンであるパルス型プラズマ推進機「PPT」の開発・評価を進めている。 特に、ホールスラスタは高真空下で周囲壁の影響を取り除く必要が高く、研究室所有の到達真空度 2×10^{-6} Torr の大型高真空チェンバー（直径 1m，長さ 1.8m）や JAXA 宇宙科学研究所のチェンバーを用いてプラズマ作動測定を実施している。

ホールスラスタ2基システムの作動

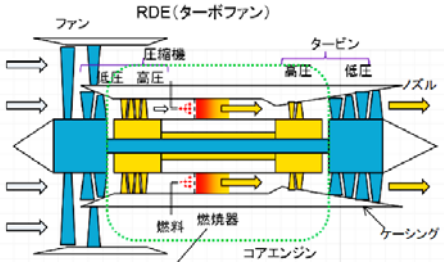
テフロンを推進剤とした PPT の作動

研究室所有の大型高真空チェンバー

2. 熱エネルギー利用研究： 燃焼による熱エネルギーを利用した化学推進ロケット等の研究

2．1　高効率燃焼エンジンの研究開発

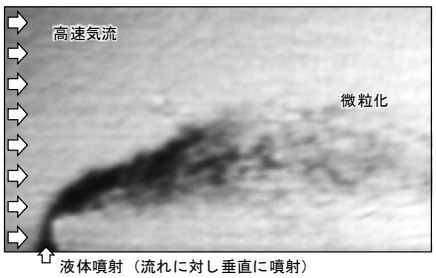
ガスタービンエンジンよりも簡素な機構でありながらも高効率な“デトネーションエンジン”の実用化に向けて、ターボファンによる出力可変システムの開発・評価を進めている。また、小型かつ軽量なデトネーションエンジンの特徴を生かし、人工衛星の推進エンジン・姿勢制御機への活用を目指している。



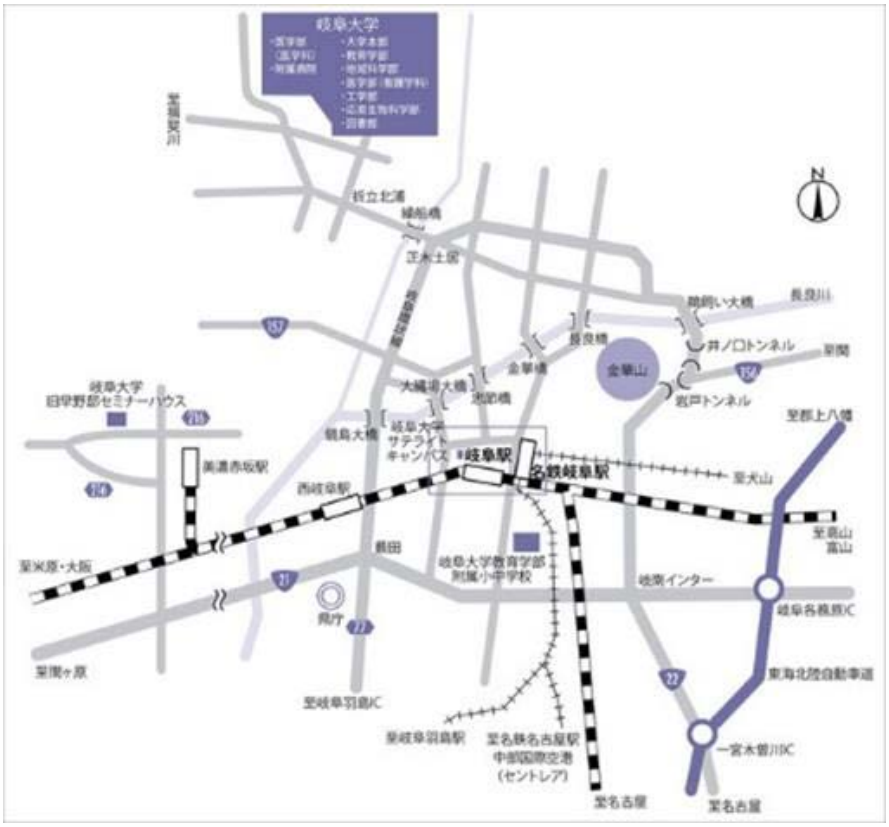
ターボファンデトネーションエンジンの概略

2．2　炭化水素燃料を用いた民間ロケット実現に向けた研究

既往のロケット燃料として一般的な水素より安価なジェット燃料や天然ガスを推進剤とするロケットエンジンや極超音速航空機エンジンの研究を行っている。これらの燃料は水素に比べて燃焼が緩やかであるため、燃焼特性を向上させるためのアシスト機構をつけることで性能の向上を図っている。また、レーザーによる燃焼時間短縮技術の開発も進めている。



液体噴射（流れに対し垂直に噴射）
液体燃料を用いたスクラムジェットエンジンの研究例



岐阜大学　研究推進・社会連携機構
地方創生エネルギーシステム研究センター
〒501-1193　岐阜市柳戸１番１
TEL: 058－293－2685
MAIL: solar@gifu-u.ac.jp