

東京大学大学院

工学系研究科機械工学専攻

ホロニク・エネルギーシステム学(東京ガス) 寄附講座

第2期活動報告

平成20年4月～平成22年3月

平成22年5月

内容

巻頭言	1
ホロニック・エネルギーシステム学講座からの学び、今後への期待	3
ホロニック・エネルギーシステム学寄附講座を担当して(幸田)	4
ホロニック・エネルギーシステム学寄附講座を担当して(坂東)	5
1. 講座概要	6
講座の構成員	7
寄附講座運営委員会	7
2. 研究活動	8
2-1. 研究概要	8
2-2. 共同研究概要	10
2-3. 情報発信活動	10
3. 教育活動	18
3-1. 講義	18
3-2. 卒業論文	18
3-3. 修士論文	18
4. ホロニック・エネルギーシステム学(東京ガス)寄附講座関連業績	19

新しい目標へ向けて

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 教授
寄付講座運営委員会 委員長
笠木 伸英

平成17年4月1日に東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻に設置されました、「ホロニック・エネルギーシステム学寄付講座(東京ガス)」は、本年度末をもって、第1期3年間、第2期2年間の計5年間の活動を終了いたします。本講座は、かねてより工学系研究科において学科横断型研究活動を続けていた、「超小型分散エネルギーシステム・ラボ」の流れを汲みつつ、グローバル化の中で改めて描かれる21世紀のエネルギー・ビジョンの下に、集中と分散、転換と利用、大規模と小規模、都市と地方の全体が調和した“ホロニック・エネルギーシステム”ともよぶべき、新しいエネルギーシステムの構想と構築に向けて研究と教育を目指したものです。そして、一次エネルギー供給から、二次エネルギー転換・貯蔵・連携、そして末端の需要側エネルギー利用まで、個と全体が調和した最適エネルギーシステムの設計技術を確立するとともに、これを構成する機器の要素研究を行うことを目的といたしました。



第1期は、客員教授として浅野浩志先生(電力中央研究所社会経済研究所)、客員助教として板東茂先生を迎えて、都市型の民生需要に応えるための、“良き市民”としてのマイクログリッドを実現することを具体的な目標として教育研究を開始しました。システムの機器・容量設計や運用計画策定、発電・蓄電システムの動特性解析と最適統合制御、そしてシステムの経済性評価、環境評価など、複数の重要な技術課題に取り組みました。これらの基本的な研究成果を踏まえて、変動の大きい自然エネルギーと従来型の発電要素を組み合わせる適切な需給調整を可能にするシステム制御法を提案し、さらには分散エネルギーシステムによるアンシラリーサービスが可能であることを明らかにいたしました。

第2期は、第1期の成果を踏まえて、ホロニック・エネルギーシステムの実現に向けた研究展開と、その学理の追究を課題とし、特任准教授として幸田栄一先生(電力中央研究所エネルギー技術研究所)を、また坂東茂特任助教を改めて特任講師として迎えて、本講座の教育研究を継続いたしました。マイクログリッドに関しては“良き市民”から“模範市民”として積極的にアンシラリーサービスの提供を行うことを提案し、その効果を明らかにいたしました。また、具体的地域を対象とするマイクログリッドの事業性の検討の中では、最適化の技術を用いた設計手法の提案を行い、実現に向けた課題を整理しました。さらに、広負荷範囲で高効率を保つ発電システムの検討を行うなど、系統電力品質を維持しながら将来の再生可能エネルギーの拡大に対応するための研究を展開しました。さらに、学理の追究という点では、ホロニック・エネルギーシステムの提唱された1980年代と現在との時代背景の違いを鑑み、全体システムと個々の要素が有機的に調和しながら安定的に運用される、新たなエネルギーシステム概念を整理いたしました。なお、設置期間を通じて、複数の産学共同研究を進めることもできました。

以上の研究成果は、本寄付講座が毎年度主催開催したホロニック・エネルギーシンポジウムにてご報告し、業種や組織を越えてご参集いただいた多くの皆様からご指導や励ましを賜りました。さらに、原著論文が担当教員や大学院生らによって関係学会や国際会議で公表され、高い評価を戴きました。この間、5名の卒業論文、1名の修士論文の研究指導が行われ、人材育成の面でも従来の講座とは異なる成果が生み

出されております。さらに、本講座教員が、新しい講義や演習を担当することにより、既存の機械工学の講義体系を拡充し、総じて、学部教育、大学院教育に多大な貢献を成すことが出来ました。また、本寄付講座の諸活動の結果、今や“ホロニック・エネルギーシステム”という言葉が確固たる意味を持って社会や産業界へ広く浸透しつつあることも記しておきたいと存じます。

さて、本寄付講座は当初の計画以上の成果を挙げ、ここに一応の節目を迎えますが、一方世界のエネルギー環境問題は一層深刻かつ緊急な事態になりつつあります。昨年、わが国の総理大臣が国連で炭酸ガス排出量を2020年までに1990年比で25%削減する方針を明言いたしました。この新たな目標は、日本社会にとって経済的にも技術的にも難題であることは間違いありませんが、少なくとも技術に携わる者にとっては、胸を張って挑むべきグランドチャレンジであると共に、社会から寄せられた大きな期待とエールといえるかと思えます。私ども機械工学専攻一同は、本寄付講座を中心に築いた推進力を増幅し、この新しい目標の達成に向かって研究教育を推進していく所存であり、ここに、関係各方面のご理解とご協力を改めてお願いしたいと存じます。

最後に、5年間の活動の締め括りに当たり、本講座設置の寄付者である東京ガス(株)をはじめ、産業界の皆様、あるいは学内外の教育関係者から戴いた様々なご支援、ご協力に、関係者一同、衷心より御礼申し上げます。

平成22年3月

ホロニック・エネルギーシステム学講座からの学び、今後への期待

東京ガス株式会社

徳本 勉

(元基盤技術部ホロニックエネルギーグループマネージャ)

東京ガス株式会社（以下弊社）は、東京大学大学院機械工学研究科におけるホロニック・エネルギーシステム学講座の寄附者として大規模集中型と分散型エネルギーの調和を目指した研究拠点の設立に参加し、2005～2009年度の二期5年間に渡る先導的研究の期間を共に歩ませて頂きました。総合エネルギー事業者の立場から社会貢献を指向する弊社にとって、過去に経験しなかった研究領域を関連専攻との協力体制で取り組むという新しい発想の下で運営された本講座は記憶に残る大変有意義な産学連携となりました。

初期の頃を振り返りますと、2005年7月に開催された創立記念シンポジウムの中で低炭素社会実現やエネルギー安定供給への時代的要請を背景として、「オンサイトの分散型エネルギー資源が既存インフラ或いは新しいエネルギーネットワークを通して双方向で取引可能になりつつある。」「自律性と全体の調和を実現できる技術的・社会経済的条件が整備されつつある。」というホロニック・パスの新たなドライビングフォースとなる理念が打ち出され、弊社はこれに適う研究をご支援するための機会や材料を提供することに微力ながら努めて参りました。幸い多くの先生方から賜りましたご理解と熱意あるご指導のお陰で、弊社横浜研究所の試験設備を用いた分散型電源統合制御やバイオガスエンジンの実証研究、都心街区をモデルとするエネルギー面的利用研究、マイクログリッドの系統貢献研究、インフラ形成における分散型電源のオプション価値研究など、機械システム・電力系統・エネルギー経済の分野に跨るホロニック・エネルギーシステムの構築に不可欠な研究テーマを、本講座を基軸としながら併行して進めて頂きました。弊社はこれらの研究から多くの知見を学ぶ機会を得て訴求に努め、また大学という中立的立場からもシンポジウム・諸学会の活動などを通じて長期的・包括的なエネルギー需給のあり方を広く発信して頂きました。加えて本講座の過程の中で、共同研究・招待講演・パネルディスカッションなどを通じてゼネコン・設計事務所・通信事業者・エネルギー事業者・国内外研究機関・メーカー等との連携の輪を広げ、今後に向けての関係を深めることができました。

本講座の締めイベントとなりました本年1月の第5回ホロニック・エネルギーシンポジウム後の技術交流会においては、多くのご来場者から活動継続への期待や暖かい励ましのお言葉を賜りました。ホロニック・エネルギーシステム実現に向けてのマイルストーンとして、昨今電力・熱などをICTによって高度利用するスマートエネルギーネットワークのフィールド実証プロジェクトを国内外で実施する動きが活発化していますが、ホロニック・エネルギーシステム学を長期的視点から極めていく研究につきましても、寄附講座という形態に限らず深耕していく大いなるポテンシャルを有していると考えられ、これからの新たな可能性を期待したいと思います。

終わりに、5年間の長きに渡り本講座の運営委員長として全体をご統括頂いた笠木伸英教授、運営委員として共同研究やイベント等をご指導下さった金子成彦教授、鹿園直毅准教授、関連研究をご指導下さった山地憲治教授、横山明彦教授、講座活動の中心として多岐にご活躍された浅野浩志特任教授（第一期）、幸田栄一特任准教授（第二期）、坂東茂講師、そして適任の教官をご派遣頂いた財団法人電力中央研究所他の関係各位に心より謝意を表させていただきます。

2010年4月吉日

ホロニック・エネルギーシステム学寄附講座を担当して(幸田)

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 准教授

幸田 栄一



ホロニック・エネルギーシステム学(東京ガス)寄附講座第Ⅱ期の2年間を担当させて頂き、この全く新しい学問分野における研究と学生の指導のみならず、幅広い分野の方々の交流など、これまでになく貴重な経験を積むことができました。

当寄付講座の第Ⅰ期には浅野教授のもと、自然変動電源と可制御電源、蓄電池等を組み合わせて適切に制御する技術やマイクログリッドの最適設計・運用技術の開発が行われ、分散エネルギーシステムからのアンシラリーサービス提供が可能であることを明らかにするなど、“ホロニック・エネルギーシステム”の具体像が徐々に見えてまいりました。

これらの成果を受け、2008年度から開始した第Ⅱ期においては「実現ステージへ」をキーワードに、電力システム全体の安定化への分散電源の活用方策を提案してその効果の定量的な見積りを行うとともに、広い負荷範囲で高い熱効率を維持する発電システムの研究などを行い、将来の低炭素社会実現に向けた制御可能電源の役割を明確化しました。また、マイクログリッドの設備構成と運用の最適設計技術による具体的地点を対象としたマイクログリッドの設計検討の結果、エネルギーを面的に活用することで事業性を確保しつつ大幅にCO₂削減可能であることを示すことができました。同時に「学理の追求」として、多くの方々との議論を通じて「ホロン」という言葉の概念から将来のエネルギーシステムのあるべき姿を整理し、「ホロニック・エネルギーシステム学」の学問体系化に向けた第一歩を踏み出せたのではないかと考えております。

2年間という時間は瞬く間に過ぎてしまいましたが、この間、エネルギー・環境技術をめぐる分野は大きく変動し、当寄付講座が目指していた方向を世間も模索し始めたと感じております。寄付講座終了後も、ここで培われた成果を今後さらに発展させ、エネルギー・環境問題の解決に向け、努力していきたいと考えております。また、当研究室を巣立っていった卒業生が、それぞれの進路において各々の能力を存分に発揮してくれることを祈っております。

最後になりましたが、当講座の寄付者である東京ガス(株)の関係者の皆様、特に教育と研究の両面において多岐にわたるご指導・ご協力をいただいた東京ガス(株)ホロニックエネルギーグループの皆様、共同研究やシンポジウム、見学会などでお世話になった清水建設(株)、日本設計(株)および(株)NTTファシリティーズの皆様、さらには当講座の運営やシンポジウムの開催などにおいてお世話になった本学機械工学専攻の笠木伸英先生、金子成彦先生および鹿園直毅先生、本学新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻の横山明彦先生、馬場旬平先生をはじめ、学内外の関係各位に深く感謝申し上げます。

平成 22 年 3 月

ホロニック・エネルギーシステム学寄附講座を担当して(坂東)

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 特任講師
坂東 茂

平成 17 年 4 月の寄付講座設立時より、5 年間講座の研究・運営に携わってまいりました。5 年間で当講座を卒業・修了した学生は計 13 名、こぢんまりとした研究室ではありましたが、個性豊かな学生たちと同じ部屋で机を並べ、各学生とほぼ毎日研究について議論し、時にはこちらが元気をもらいながら研究を進めてまいりました。

研究展開としては、最初の 3 年間ではマイクログリッド構築時のエネルギーシステムの最適設計・最適運用の研究や、東京ガス横浜研究所のマイクログリッド実証設備を使わせていただきながらリアルタイム需給制御の実験など、いわばマイクログリッドの構築から運用まで一揃いの研究を展開いたしました。後半の 2 年間では、マイクログリッドの設計手法を軸にして、マイクログリッドの系統への貢献の可能性を探ることができました。また、東京ガス(株)、(株)日本設計、清水建設(株)との共同研究では、それまで最適設計の研究では扱うことができていなかった電気設備の設計や、電力・熱のプラント構築にかかるコストなどについて具体的に検討することができ、マイクログリッド導入への高いハードルと言われている経済性のシミュレーション研究を深く、かつ現実的に展開できたものと考えております。

思えば 5 年間のホロニック 寄付講座での活動の成果は、どれも自分一人では到底なしえなかったものばかりです。寄付元であり、研究面、シンポジウムや研究会でも大変なご高配をいただきました東京ガス株式会社の皆様はこの場をお借りいたしまして、厚く御礼申し上げます。また、共同研究などで大変お世話になりました清水建設株式会社の皆様、株式会社日本設計の皆様、全 5 回のホロニック・エネルギーシンポジウムにてお世話になりました皆様、そして、ホロニック研究会や外部の研究会にてご一緒させていただきました皆様に厚く御礼を申し上げます。

最後になりましたが、寄付講座の運営や研究活動にご助言・ご指導をいただきました本学機械工学専攻の笠木伸英先生、金子成彦先生、鹿園直毅先生に、深く感謝の意を申し上げます。そして本寄付講座の浅野浩志先生には 5 年間、幸田栄一先生には 2 年間にわたり大変丁寧かつ貴重なご指導をいただきました。誠にありがとうございました。今後とも変わらぬご指導をいただけますよう、よろしくお願い申し上げます。

2010 年 4 月より電力中央研究所社会経済研究所に移り、デマンドレスポンスについての研究を展開いたします。需要家に近いシステムの研究という点では継続しておりますが、エネルギーフローの上流から下流まで扱う研究所で、日本のエネルギーシステムの「あるべき将来像」を今後も追い求めてみたいと思います。

平成 22 年 4 月



1. 講座概要

ホロニック・エネルギーシステム学（東京ガス）寄附講座は、東京ガス株式会社の寄附により、平成17年4月から3年間、さらに第2期として平成20年4月から2年間の計5年間にわたり開設された。本講座は、エネルギー安定供給・環境問題・経済成長のいわゆるトリレンマ問題を解決し、将来にわたって持続可能な社会を実現するために、分散型エネルギーと全体システムとの最適な調和を図るホロニック・エネルギーシステムの構築を目指す。これまで機械系専攻を中心に取組まれてきた各種エネルギー技術の要素技術研究をもとに、電気系など専攻横断的にエネルギーシステムの将来像を探索し、既存のネットワークエネルギーと分散型エネルギー資源とを活用するエネルギー需給マネジメントの有効性を示す。

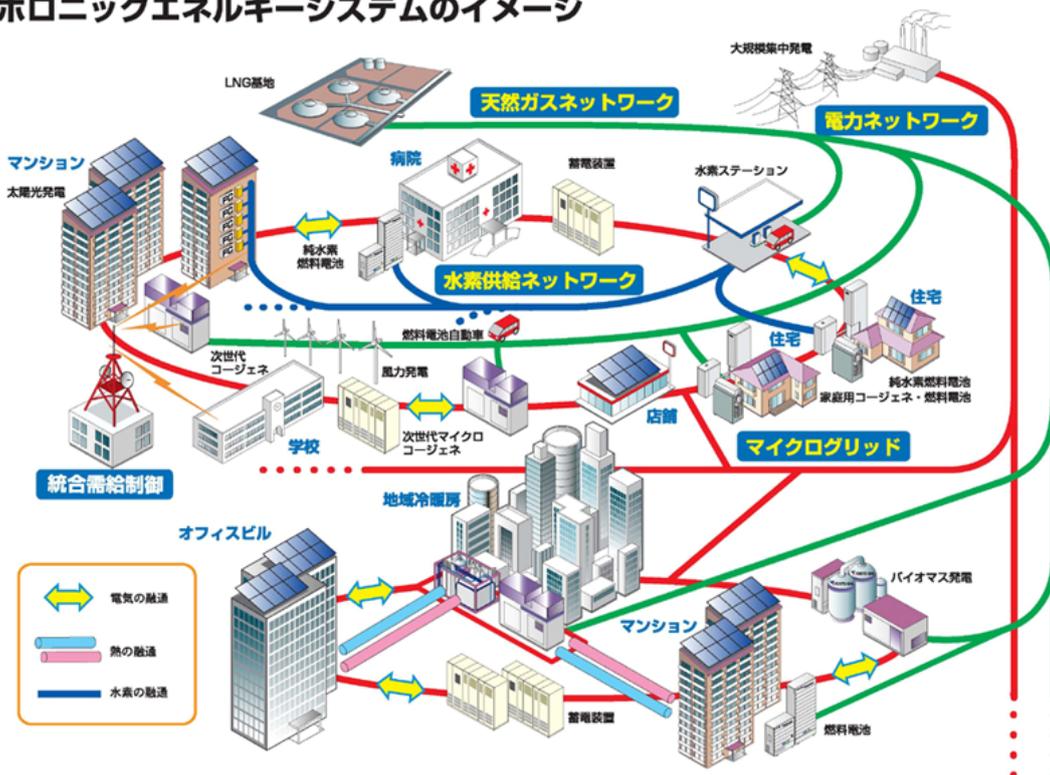


講座のある工学部2号館(奥)と安田講堂(手前)

<第2期「ホロニック・エネルギーシステム学(東京ガス)寄附講座」の概要>

1. 講座名称	ホロニック・エネルギーシステム学（東京ガス）寄附講座 Holonc Energy Systems Laboratory
2. 設置場所	東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻
3. 設置期間	平成20年4月～平成22年3月
4. 寄附者	東京ガス株式会社（代表取締役社長：鳥原光憲）
5. 担当教員	幸田 栄一（コウダ エイイチ）東京大学特任准教授 坂東 茂（バンドウ シゲル）東京大学特任講師

ホロニックエネルギーシステムのイメージ



注) ホロニック・エネルギーシステム

ホロニック・エネルギーシステムの語源である「ホロン (HOLON)」とは、英国の哲学者アーサー・ケストラーが1970年代に提唱した概念で、ギリシャ語の「ホロス (HOLOS)」(全体)と「オン (ON)」(個や部分)の合成語である。すべてのモノは、全体の一部分「構成要素」でありながら、それ自体がひとつの「全体」でもあるという考え方である。日本語には「全体子」と訳され、「個と全体の有機的調和」という意味で用いられている。その概念をエネルギーシステムに適用したものがホロニック・エネルギーシステムである。

講座の構成員

平成20～21年度の講座構成員は下記の通りである。

平成20年度

特任准教授：幸田 栄一， 特任講師：坂東 茂
秘書1名、修士課程2年生1名、学部4年生2名

平成21年度

特任准教授：幸田 栄一， 特任講師：坂東 茂
秘書1名、学部4年生4名

寄附講座運営委員会

機械工学専攻に下記教員から成る寄附講座運営委員会を設置し、円滑な運営を図った。

委員長： 機械工学専攻 笠木 伸英 教授
委員： 機械工学専攻 金子 成彦 教授
機械工学専攻 鹿園 直毅 准教授
電力中央研究所 浅野 浩志 スタッフ上席研究員
機械工学専攻 幸田 栄一 特任准教授
機械工学専攻 坂東 茂 特任講師

2. 研究活動

2-1. 研究概要

本講座では、全体と個が調和したエネルギーシステムであるホロニック・エネルギーシステムを提案しており、個として表現できる分散電源と、全体としてのシステムがうまく協調しながらエネルギーの供給を行う姿を目指している。講座設立当初、次世代型エネルギーシステムとして、当講座ではいち早くマイクログリッドをホロニック・エネルギーシステムの重要な構成要素と位置づけ、設計・運用手法の構築や、運用制御システムの構築を、平成 19 年度までの 3 年間の研究活動において達成した。平成 20 年度以降を、ホロニック・エネルギーシステムの実現段階の研究期間として位置づけ、具体的地域を対象とするマイクログリッドの事業性の検討や分散電源からのアンシラリーサービスの検討を行っている。

以上の研究計画の中で、平成 20 年度は 5 つのテーマについての研究を行った。

(20-1) マイクログリッドからの出力変動に関する研究

マイクログリッドからの潮流変動が系統周波数変動に及ぼす影響を評価するため、システムモデルにマイクログリッドモデルを組み合わせた解析モデルを構築し、マイクログリッドからの潮流が周波数制御に参加した場合や、現状のマイクログリッドが順守する同時同量制約の場合における系統周波数への影響について解析・評価を行った。

この結果、分散電源が周波数制御に参加することにより系統周波数の変動抑制効果が得られることを示すとともに、系統周波数変動の抑制効果を大きくするためには連系点潮流の変動が大きくなる場合もありうることを示し、現在マイクログリッドが課せられている潮流変動の制約が効果的とは言えないことを明らかにした。

(20-2) 都心部におけるエネルギー面的利用に関する研究

都心部において大規模マイクログリッドを構築した場合の事業性検討のためのスキームを平成 19 年度までに構築したが、平成 20 年度はその改良を行うと共に電力と熱の融通制約が変わった場合の事業性への影響についての検討を行い、以下を明らかにした。

- ・投資回収年数を短くするためには需要家を選択することが有効である
- ・複数の地冷地域でエネルギー面的利用を行う場合、熱と電力を共に融通したほうが省エネルギー性および環境性が高くなる

(20-3) 分散エネルギーシステムの投資戦略

昨今のエネルギー価格の乱高下は分散電源の導入に大きな影響を与えたが、電力・ガスの 2 つのエネルギー価格がそれぞれ不確実に変動する際の分散電源の投資戦略のリスクと価値を金融工学的手法に基づいて評価した。段階的投資や再生可能エネルギーの組込み、太陽光発電の低コスト化などが投資戦略に与える影響を解析・評価し、以下を明らかにした。

- ・不確実性が大きくなると、燃料を必要とする分散電源の投資が控えられること
- ・太陽光発電の容量単価が半減すると導入決定のエネルギー価格の閾値が大きくなり下がり、導入が促進されること

(20-4) アンシラリーサービスの経済的評価と規模算出

電力供給において、再生可能エネルギーやベース運転を行う原子力・火力発電の供給割合が大きくなると電力品質の維持のためには需給バランスのための出力制御可能な電源の確保が重要である。将来的には分散電源も品質維持に貢献することが考えられているが、本研究ではマイクログリッドがシステムの電力品質に貢献する際に、経済的インセンティブの設定を複数考え、

それぞれの場合において貢献用電源の確保できる規模を算出した。この結果、経済的インセンティブが 1,500 円/kW の時に関東地方の地冷地区全体から約 100 万 kW の予備力の提供が期待でき、その分維持費用の大きな経年火力を廃止できる可能性があることを明らかにした。

(20-5) 広負荷範囲において高効率発電を実現する MCFC-GT ハイブリッドシステムの設計

全体システムの電源は今後さらなる高効率求められるが、化石燃料を用いた発電は需要と供給のバランスを取る必要があるため、広負荷範囲で高効率を達成することのできる発電システムの検討を行い、MCFC とガスタービンを組み合わせるとともに部分負荷時の運転方法を工夫することにより、負荷率 25%~100%の範囲において発電効率 58%(HHV 基準)以上を達成するシステムを提案した。

平成 21 年度は分散電源の系統貢献の直接的効果の評価、環境性評価、経済性評価についての研究と、都心部においての未利用エネルギーと大型コージェネレーションの併用プラントの事業性・環境性評価についての研究を行った。

(21-1) 風力発電大量導入時における周波数制御への分散型電源の活用に関する研究

マイクログリッド内の分散型電源を負荷周波数制御に活用することで風力発電の導入を拡大した際の以下の 3 つの事項について解析を行い、分散型電源の活用方策とその効果を明らかにした。

1:分散型電源の活用による周波数変動の抑制

2:導入可能風力規模と需給バランス調整力規模の関係

3:風力発電およびマイクログリッド導入による CO₂ 排出量への影響

得られた結果は風力発電大量導入時の系統周波数変動抑制には分散型電源の活用が有効であり、分散型電源の制御方法としては、従来の連系点潮流平滑化制御よりも系統周波数平滑化制御の方が周波数変動抑制、風力発電の導入量、CO₂ 排出量削減の 3 つの観点から優れていることを明らかにした。

(21-2) 都心部におけるエネルギー面的利用に関する研究

都心部において地冷供給エリアを対象に、大規模マイクログリッドと、清掃工場の蒸気排熱をネットワークから導入した場合の事業性の検討を行い、その省エネルギー効果、環境性、事業性を明らかにした。この結果、需要家の熱需要が電力需要に比較して大きく、蓄熱槽を設置することが可能な場合にコージェネレーションと蒸気ネットワークによる省エネルギー性、環境性の相乗効果があることを定量的に明らかにした。事業性については、既設のエリアの場合では約 9 年、再開発エリアの場合では約 4 年程度と大きく事業性が異なることを示した。

(21-3) 分散電源によるアンシラリーサービスに関する経済性と規模算出

電力供給において、再生可能エネルギーやベース運転を行う原子力・火力発電の供給割合が大きくなると電力品質の維持のためには需給バランスのための出力制御可能な電源の確保が重要である。将来的には分散電源も品質維持に貢献することが考えられているが、本研究ではマイクログリッドが系統の電力品質に貢献する際に、経済的インセンティブの設定を複数考え、それぞれの場合において貢献用電源の確保できる規模を算出した。昨年度も同様の研究を行っているが、本年度は電源となるガスタービンの価格を見直し、さらに電力購入先として電力市場を考慮した場合における貢献規模の再評価を行った。

(21-4) 広負荷範囲において高効率発電を実現する MCFC-GT ハイブリッドシステムの設計

全体システムの電源は今後さらなる高効率求められるが、化石燃料を用いた発電は需要と供給のバランスを取る必要があるため、広負荷範囲で高効率を達成することのできる発電システムの検討を行い、MCFCとガスタービンを組み合わせるとともに部分負荷時の運転方法を工夫することにより、負荷率25%～100%の範囲において発電効率58%(HHV基準)以上を達成するシステムを提案した。本年度は提案したシステムと従来型MCFC-GTハイブリッドシステムをそれぞれエクセルギー解析して比較評価し、提案システムが高効率を維持できる理由を明らかにした。

2-2. 共同研究概要

当講座では研究項目(20-2)、(21-2)については清水建設、日本設計、東京ガスとの共同研究、その他の研究に関しては東京ガス株式会社との共同研究にて実施した。

	平成20年度	平成21年度	平成20年度	平成21年度
共同研究先	東京ガス(株)	東京ガス(株)	清水建設(株) 日本設計 東京ガス(株)	清水建設(株) 日本設計 東京ガス(株)
研究題目	マイクログリッドから系統への潮流変動の許容量の研究	再生可能エネルギー大量導入時のマイクログリッドからの潮流変動の許容量の研究	エネルギーの面的利用による効率化の研究	エネルギーの面的利用による効率化の研究
研究目的	マイクログリッドからの潮流変動が系統の周波数に及ぼす影響を明らかにする	風力が大量導入される際に、系統の周波数制御に分散電源を活用した場合の効果を明らかにする。	都市内の街区を対象としたエネルギーの面的利用の効果を明らかにする	都市内の街区を対象としたエネルギーの面的利用の効果を明らかにする
研究内容		。	都市内の街区を対象とした地域熱供給設備、マイクログリッド設備において、負荷データをもとに、経済性、環境性、省エネ性の分析を行う。	

2-3. 情報発信活動

I. 寄附講座継続お披露目会

開催日：2008年6月27日

東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻ホロニック・エネルギーシステム学（東京ガス）寄附講座の第2期継続お披露目会が本郷の学士会館別館2階6号室において、各界から59

名の参加者を得て盛大に行なわれた。ご挨拶をいただいた方々からはエネルギーシステムの今後の展望や、業種を超えた提言への期待などが述べられた。

II. 第4回ホロニック・エネルギーシンポジウム ～ホロニック・エネルギーシステムの実現に向けて～

開催日：2009年1月14日

2009年1月14日(水)、東京大学浅野キャンパスの武田ホールにおいて、主催・東京大学ホロニック・エネルギーシステム学(東京ガス)寄付講座、共催・東京大学グローバル COE 機械システム・イノベーション国際拠点、協賛・エネルギー・資源学会、日本エネルギー学会の下、第4回ホロニック・エネルギーシンポジウムが開催された。過去3回のシンポジウムに引き続き、機器メーカー、エネルギー事業者、大学、自治体、研究調査機関、建設会社など産官学から広く202名の参加者が集った。

今回のシンポジウムの副題は「ホロニック・エネルギーシステムの実現に向けて」と掲げ、ホロニック・エネルギーシステムの重要な要素である分散電源側と系統側それぞれにおける技術の現状と今後の対策についての講演とパネル討論や、日本のエネルギー分野の人材育成についての講演が企画された。

シンポジウムは笠木伸英教授(工学系研究科機械工学専攻教授・寄付講座運営委員会委員長)の開会挨拶に始まり、ホロニック・エネルギーシステム学(東京ガス)寄付講座の幸田栄一特任准教授、NTT ファシリティーズ主幹研究員の廣瀬圭一氏、新領域創成科学研究科先端エネルギー専攻横山明彦教授、工学系研究科機械工学専攻金子成彦教授の講演が行われた。

幸田准教授の講演では2つのテーマについての報告があった。1つ目のテーマは清水建設・日本設計・東京ガス・当講座の4社で昨年度より構成しているエネルギーの面的利用研究会の成果報告で、都市部の3つの隣接する地冷地区について、マイクログリッドを構築した場合の事業性の検討を行ったものである。検討の1ケースでは3つの地冷をひとつのマイクログリッドにした場合には現状システムを継続した場合に比べて、一次エネルギー消費量は26%削減、CO₂排出量は約40%削減できるという結果になり、初期投資回収年数は8年となった。回収年数が長くなった理由としては建物毎に受電電圧が違い、設備が複雑になったこと、熱輸送配管コストが大きくなったことなどが挙げられ、それらを改善するためにおこなったもう1ケースの検討では、1つの地冷地区の一部をマイクログリッド化した場合の検討を行いました。その結果、投資回収年数が約5年と事業性に改善が見られた。

2つ目のテーマとして、マイクログリッドと系統の間の潮流の変動が系統に与える影響についての検討についての報告があった。マイクログリッドの潮流は現時点ではできるだけ変動を抑えるような制御が施されている場合がほとんどであるが、本検討ではどのレベルまで変動が許されるのかについての定量的な検討である。その結果、マイクログリッドが少しでも潮流変動を吸収する場合には周波数変動を小さくする影響があることが明らかになった。今後、風力発電や太陽光発電などの自然変動電源がマイクログリッド内外に大量導入された場合にマイクログリッドがどの程度全体系統の周波数制御に貢献できるのかについて研究が続けられる。

会場からは、前半の面的利用について、ガスタービンを用いた場合の検討について質問が出ました。坂東より「数千 kW 級のガスエンジンとガスタービンでは部分負荷の場合でも効率はガスエンジンが高く、さらに台数制御を考えているので、高効率の発電がおこなわれている。」と回答があった。

次にNTT ファシリティーズ主幹研究員の廣瀬圭一氏の講演では、「品質別電力供給システムか

ら総合エネルギーシステムへの展開」という副題のもと、NEDO の「品質別電力供給システム」プログラムの実証試験の結果についての報告があった。実証期間中の系統連系モードでの試験結果、自立運転モードでの試験結果にはじまり、システムの環境性についての解析や、昨年東北地方で起きた大地震発生時の電力品質のデータなど、実証試験後を含む最新の成果が発表された。地震発生時には直流送電と高品質 A(最も品質の高い交流電力供給)では影響が見られず、高品質 B1(2 番目の品質の交流電力)、高品質 B3(同 2 番目(当時))では瞬低の度合い、持続時間などが標準品質に比べて改善されていることが確認された。また、環境性については、分散電源がなく熱供給をボイラにて行っている場合と比べて、本システムでは 13%強程度の CO₂ 排出量削減となった。

会場からの質問では「供給設備に対してほぼ同じくらいの規模の需要であることを考えると、潮流 0kW 制御を施し、遮断機がハーフサイクルで切れるものにしておけば、高品質負荷にそれぞれある DVR は不要なのではないか？」という質問があった。廣瀬氏からは「仙台市エリアに大きな誘導機があり、その対応のために必要であった。」との回答があった。また、環境性の評価期間についての質問があり、廣瀬氏からは「10 月のデータを用いており、熱負荷としては温水と一部暖房が使われている状態での評価である。冷房の需要の多い夏や暖房需要の多い冬であれば、環境性が向上することが期待される。」との回答があった。



新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻の横山明彦教授からは、「再生可能エネルギーの大量導入に向けた系統側のインフラストラクチャ整備」とのタイトルで講演が行われた。将来的に再生可能エネルギーが大量導入された際には、蓄電池、揚水発電などエネルギー貯蔵の活用方法が変化することが考えられ、スマートメータリングなどの ICT 技術の活用やマイクログリッドの系統貢献が必要となることが講演された。

会場からは「太陽光が大量に導入された場合に系統が安定して運用されるためには、日本全域での監視システムが必要かと思うが、実際に制御することは可能なのか？」という質問があり、横山教授からは「現時点では判断は難しい。太陽光が導入されていく過程でステップバイステップでの技術開発が必要である。技術的にどうしても無理ということであれば、太陽光の導入目標 5300 万 kW も届かないということである」との回答があった。

機械工学専攻の金子成彦教授からは、「エネルギー分野の人材育成について」とのタイトルで講演が行われた。これまでの機械工学専攻内の教育プログラム、COE の教育プログラムについての紹介や、東大におけるエネルギー研究の動向、金子・山崎研究室におけるエネルギー分野の研究動向・

教育方針などの紹介がされた。その後、本シンポジウムに向けて行った人材育成アンケートについての報告があった。人材アンケートは現在の大学教育の在り方に始まり、ホロニック・エネルギーシステムの構築に関わる人材に必要な資質に至るまでのアンケートとなった。理論だけでなく実践の重要性が強調された。



その後、笠木教授の司会進行で、浅野浩志氏(電力中央研究所上席研究員)、馬場旬平准教授(新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻)、金子教授、廣瀬氏、幸田准教授によるパネルディスカッションが行われた。討論に先立ち、浅野氏からはデマンドレスポンスを中心としたエネルギーシステム運用への需要家の参加について、馬場准教授からは清水建設技術研究所で進められているマイクログリッド実証研究の成果について、金子教授からは燃料成分の変動に対応できるガスエンジン制御システムについての講演があり、その後ディスカッションに移った。

本パネル討論の論点としては

1. 地球環境の時代におけるホロニック・エネルギーシステムの時代的意義、果たすべき役割、生み出す価値は何か？

時代的意義としては環境問題に対応することでパネリストの意見は揃った。ホロニックの役割については、需要側・供給側双方が情報を交換する仕組みを作ることが主な役割であり、さらには、消費者に情報を出すことの重要性を認識してもらうことや、全体を見通す人材の育成などが挙げられた。

2. ホロニック・エネルギーシステムの実現について

- その実現に向けた技術、経済、制度はどこまで達成されたか？

ICTを中心に技術、経済性は相当進展してきている。制度面では、電力市場の整備など進展している。

- 残された課題と採るべきアクションは？

需要家の環境意識を高めることと、関係分野の人材育成、多様な価値の受益と負担の分担を決めること、が課題である。

- 地域事情にフィットしたエネルギーシステムの構築について課題はあるか？

途上国などの非都市型でのマイクログリッドについては、電源をバイオガスエンジンなどにする事で、技術的には今までの実証試験の成果で十分対応できると考えられる。実現段階での問題としては、開発者と運用者の間での技術内容の継承が挙げられる。適当なサイズの技術情報のドキュメンテーションを作成することが重要である。

会場からは、部分最適が全体最適に寄与する形にはならないことを指摘する質問があり、これに対して、これまでの安定供給と経済性という評価基準ではなく、需要・供給面での多様性を許容する新た

な評価軸が必要であるとの回答があった。また、系統上どこでも同じメリットを享受するしくみづくりが必要かと思うがどうすればよいと思うか？という質問については、マイクログリッドの制御が集中型ネットワークの制御につなげることが必要であるとの回答があった。制御方法を定めるのが課題である。

パネリストからの解題としては以下の通りである。

1. 地球環境の時代におけるホロニック・エネルギーシステムの時代的意義，果たすべき役割，生み出す価値は何か？
 - ・ 需要側・供給側の連帯，市民参加への途，地域フィットネス
 - ・ 経済的・環境的な価値に加えて，多様な価値の提供
 選択可能性，自然エネルギー，電力品質の選択，最適化．．．
 - ・ エネルギー分野の人材育成と学術進展の仕組み
2. ホロニック・エネルギーシステムの実現に向けて
 - ・ 個別技術・システム技術の進歩により，自立と自律を実現
 ICT との融合による DR，アンシラリーサービスの達成
 - ・ 経済的・環境的な価値，提供される多様な価値の定量化
 需要家の満足度，価値の認識，受益と負担の分配．．．
 - ・ 求められる技術者の育成と市民への情報発信

プログラムは下記のとおりです。

	13:00～13:10	開会あいさつ	笠木 伸英 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻教授)
	13:10～13:50	講演(1)	幸田 栄一 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻特任准教授) 「ホロニック・エネルギーシステム実現に向けて」
	13:50～14:30	講演(2)	廣瀬 圭一 (NTT ファシリティーズ主幹研究員) 「環境性と信頼性の向上を目指した分散エネルギーシステムの実証 —品質別電力供給システムから総合エネルギーシステムへの展開—」
	14:30～15:00	講演(3)	横山 明彦 (東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻教授) 「再生可能エネルギーの大量導入に向けた系統側のインフラストラクチャ整備」
	15:00～15:20	休憩	
	15:20～16:00	講演(4)	金子 成彦 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻教授) 「将来のエネルギー分野を担う人材の育成について」
	16:00～17:20	パネル討論	「ホロニック・エネルギーシステムの実現に向けて」
		コーディネーター	笠木 伸英
		パネリスト	浅野 浩志 (電力中央研究所社会経済研究所スタッフ上席研究員) 馬場 旬平 (東京大学大学院新領域創成科学研究科先端エネルギー工学専攻准教授) 金子 成彦、廣瀬 圭一、幸田 栄一
	17:20～17:30	閉会あいさつ	杉山 昌樹 (東京ガス株式会社常務執行役員)
	18:00～	技術交流会	

III. 第 5 回ホロニック・エネルギーシンポジウム ～ホロニック・エネルギーシステムの学理と実践～

開催日：2010 年 1 月 15 日

2010 年 1 月 15 日(金)、東京大学浅野キャンパスの武田ホールにおいて、東京大学ホロニック・エネルギーシステム学(東京ガス)寄付講座の主催により、第 5 回ホロニック・エネルギーシンポジウムが開催された。過去 4 回のシンポジウムに引き続き、機器メーカー、エネルギー事業者、大学、自治体、研究調査機関、建設会社など、産官学から広く 196 名の参加者が集った。

今回で最終回となる本シンポジウムでは、「ホロニック・エネルギーシステムの学理と実践」を副題と掲げ、東京大学・松橋隆治教授による特別講演、およびこれまでの当寄付講座の研究成果についての講演が発表された。



丸山茂夫教授(工学系研究科機械工学専攻長)から開会挨拶として、

「エネルギー問題は本寄付講座が立ち上がった頃よりも「よく耳にする普通の問題」となり、環境エネルギー分野はますます力を入れるべき分野となってきた。学生の育成も含めて理論を体系づける必要がある。その中で本寄付講座の活動が種になり、今後さらに広がることを期待する」との話を頂いた。

最初の講演として、機械工学専攻の金子成彦教授より、5 年間の寄付講座の活動報告があった。寄付講座設置時からの研究活動、論文指導や講義などの教育活動、イベント開催にわたる活動が紹介された。また、卒業生を対象にアンケートを行い、現在の職場でも全体最適を意識しつつ目の課題に取り組んでいることなど、ホロニック・エネルギーシステム学講座における教育の効果について紹介があった。

続いて、特別講演として東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻・松橋隆治教授を迎え、IPCC などで議論されている CO2 削減の世界の潮流や、日本の取るべき対策についての講演があった。松橋教授の講演では、主に次に挙げる 3 つの論点について説明があった。

1. 低炭素社会とホロニック・エネルギーシステム
2. 温室効果ガス削減中期目標と国内の主な施策
3. 低炭素社会への移行と国民生活への影響評価

論点 1 では、大規模電源と小規模電源の相補性、供給側と需要側の双方向性の二つの視点について、ホロニックが初めて提唱された 1980 年代と、現代との相違について触れられた。論点 2 では、日本の中期目標達成のために必要な施策として PV 導入促進策の導入、原子力の設備利用率改善策などについて触れられた。また論点 3 では、低炭素社会実現時に国民の家計に対する影響評価の手法についての説明があり、エネルギー価格が変化すると全ての財に影響が波及するため、応用一般均衡モデルを用いたシミュレーションが必要となることなどが紹介された。

会場からは、スマートグリッドの実現した姿についての質問があり、松橋教授からは、現状は全体像を追い求めている形となってしまっているが、最も重要なことは地域の特色、文化などを生かしたスマートグリッドを目指すべきであるとの回答があった。

三つ目の講演として、本寄付講座の幸田栄一特任准教授の講演があった。その中で、

1. ホロニック・エネルギーシステムの学理について
2. 広い負荷範囲で高い発電効率を保つ発電システムについて
3. マイクログリッドの系統周波数制御への貢献について
4. マイクログリッドからの予備力供給の経済的評価について

の四つのテーマについて説明があった。

ホロニック・エネルギーシステムの学理の講演では、ホロニック・システムの語源となったホロンの二面性、ホロンが作る階層構造、その構造を作る際の自己組織化についての説明があった。その学理を現代のエネルギーシステムに当てはめ、柔軟性、多様性、安定性を持つホロニック・エネルギーシステムについての説明があった。その後は寄付講座の研究紹介があり、上記2～4のテーマについての説明があった。

会場からは、今までのイノベーションでは見逃されていたプロセスがないと更なるイノベーションはない。ホロニックと同じ二面性。解釈は欧米人が得意な部分であるが、もっと日本人の特有の「暗黙知」の部分をうまく活用できたら良いと思う。暗黙知として、例えば燃料電池の負荷率を下げることなどが挙げられる。というコメントが述べられた。

四件目の講演として、本寄付講座の坂東茂特任講師より地域エネルギー供給設備の最適設計についての発表があった。実際の都心のサイトにマイクログリッドを導入することを想定して設計を行い、その事業性、省エネルギー性、環境性について検討を行ったものである。本年は3つのエリアでの電力と熱の供給を想定し、エリア間の電力と熱の融通の有無が全体の設計に与える影響などについて報告があった。熱と電力を融通すると、初期コストは高くなるものの、エネルギー融通の効果によるランニングコスト低減の効果の方が大きく、投資回収年数は短くなり、環境性についてはCO₂排出削減率が39.5%、一次エネルギー消費量削減率が26.5%となることが報告された。しかし、比較的規模の小さい(10,000kW級)負荷を持つマイクログリッドの場合は、電力融通のコストが大幅に減り、投資回収年数が4年弱となることを示した。

会場から下記のコメントがあった。

不特定多数の需要に対しては契約電力の半分ぐらいの電源があれば電力の供給が可能である。不特定多数の需要を考えた場合の検討が必要ではないか。

続いて、電力中央研究所の浅野浩志上席研究員より、エネルギー価格の不確実性を考慮した分散エネルギーシステムの投資戦略についての講演があった。

リアルオプションアプローチを用いて、燃料価格と電力価格が相関を持ちながら不確実に変動する場合の投資リスク評価法を提案した。コージェネレーションシステム(CGS)と太陽光発電(PV)を組み合わせた分散型エネルギーシステムへの投資問題に適用し、その有効性を示した。

会場からは、義務的にPVを導入する風潮になっていることについて、本研究ではどのように扱うことができるのか？についての質問があり、浅野上席研究員からは、CO₂排出メリットを考慮することは可能であり、今後、炭素価格は主要な不確実要因になる可能性があり、本研究の考え方を拡張していく必要があるとの回答があった。

また、ハワイにおけるスマートグリッド化のように風力発電とガスタービン発電機の組み

合わせた検討をすると面白いのではないかというコメントがあり、浅野上席研究員からは、風力発電はすでに経済的に競合できる電源であり、風力をさらに追加投資するのか、他の電源を拡張するのかという選択肢があり、再生可能エネルギー電源を中心としたシステムとして興味深いケースとなりうるとの回答があった。

引き続き、東京ガス株式会社の徳本勉氏の講演があり、低炭素社会並びにホロニック・エネルギーシステムの実現に向けた東京ガスの長期的な取り組みと展望が紹介された。また寄付講座開設期間における機械工学専攻金子研究室、電気工学専攻横山研究室、山地研究室との共同研究の成果が紹介され、ホロニック・エネルギーシステムへのアプローチの中での大学の役割についても触れられた。

最後に寄付講座運営委員会委員長の機械工学専攻・笠木伸英教授より閉会挨拶があった。挨拶の概要は下記の通りである。

寄付者の東京ガス株式会社に対して寄付講座設立への御礼、並びに共同研究を通じた活動支援への感謝の意が述べられた。また、寄付講座の活動を応援いただいた全ての方々に感謝の意が述べられた。現政権が掲げた25%削減目標については、この目標はマイルストーンとして非常に貴重なエールと捉えてはとの話があった。現在地球温暖化の問題は社会的課題として認識されており、政府の成長戦略により予算は確保されている。大学の役割である基礎研究は益々重要であり、研究者はエールを受けてユニークかつ革新的な技術を創造し、発信する必要がある。

プログラムは下記のとおりです。

司会進行:	鹿園 直毅 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻准教授)
 14:00~14:05	開会あいさつ 丸山 茂夫 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻長・教授)
 14:05~14:25	講演(1) 金子 成彦 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻教授) 「ホロニック・エネルギーシステム学(東京ガス)寄付講座5年間の経緯」
 14:25~15:05	特別講演 松橋 隆治 (東京大学大学院新領域創成科学研究科環境システム学専攻教授) 「低炭素社会の構築とホロニック・エネルギーシステム」
 15:05~15:55	講演(2) 幸田 栄一 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻特任准教授) 「ホロニック・エネルギーシステムの学理と実践」
 15:55~16:10	休憩
 16:10~16:50	講演(3) 坂東 茂 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻特任講師) 「地域エネルギー供給設備の最適設計」
 16:50~17:20	講演(4) 浅野 浩志 (電力中央研究所社会経済研究所スタッフ上席研究員) 「分散型エネルギーシステムの投資リスク評価」
 17:20~17:40	講演(5) 徳本 勉 (東京ガス株式会社技術開発本部基盤技術部 ホロニックエネルギーグループマネージャー) 「ホロニック・エネルギーシステム学講座からの学びと今後への期待」
 17:40~17:50	閉会あいさつ 笠木 伸英 (東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻教授)

3. 教育活動

教育活動については、平成 20 年度に 1 名の修士課程学生と 2 名の学部 4 年生、平成 21 年度に 4 名の 4 年生がホロニック・エネルギーシステム学講座に所属し、週に 1,2 回のペースで研究会を開き、卒業論文、修士論文に関する研究指導を行なった。また、地域冷暖房システムやマイクログリッド実証試験設備、各種発電所を見学し、専門家と意見交換を行った。

また、学内外において主にエネルギー分野を題材とした講義・実験を行なった。

3-1. 講義

平成 20 年度、21 年度にわたり、下記の講義・実験を担当した。

(幸田)

- ・ エネルギー変換工学 (大学院)
- ・ エネルギーと社会 (大学院)、エネルギーと環境 (学部)
- ・ エネルギープラント論 (システム創成 4 年生)
- ・ 応用プロジェクト「エネルギープラントのシステム設計と解析、評価」(同 3 年生)
- ・ 領域プロジェクト「エネルギープロジェクト構築とプラントシステムの検討」(同 4 年生)
- ・ 実現型プロジェクト「エネルギープラントのシステム設計」(同 4 年生)

(坂東)

- ・ 高度情報化社会の機械工学 (教養学部)
- ・ 機械工学実験(2 年生)

3-2. 卒業論文

平成 20 年度

小谷唯 「広負荷範囲で高効率運転を実現する MCFC 発電システムの研究」
長野直大 「マイクログリッドの系統貢献に関する定量的評価」

平成 21 年度

浦川竜太 「都心部における清掃工場からの蒸気排熱を利用したマイクログリッドの設計」
松浦正嗣 「再生可能エネルギー大量導入に向けた系統周波数変動抑制への分散型電源の活用」
松山裕幸 「分散電源による電力供給予備力に関する研究」

3-3. 修士論文

平成 20 年度 有木和歌子 「経済的不確実性下での分散型エネルギーシステムの投資戦略」

4. ホロニック・エネルギーシステム学(東京ガス)寄附講座関連業績

詳しくはWEBをご覧ください。

以上