

(1)事業概要

①【事業概要】

複数キャンパスをもつ大学において、環境モニタリング技術、エネルギー利用設備の定量指標による全体管理技術、建物内外のグリーンキャンパスデザイン技術について技術開発および実証研究を行い、延べ床面積あたりの原単位で二酸化炭素排出量を2005年度比22%削減するビジョンを示すとともに、将来技術として、2005年度比30%以上の削減を目指し、電力課金制度、再生可能エネルギー利用設備・熱電併給設備などの分散電力網と電力会社の系統電力網との連携による二酸化炭素排出削減量をシミュレーションにより検証を行った。

②【期待されるCO2削減効果】

○2020年時点の削減効果(試算方法「その他:大学のガスと電力の消費量から算出、但し、電力については2通りで算出した」詳細は成果報告書196頁)  
省エネ対策と電力融通によるクラスター型マネジメントにより、電力について0.332, 0.555(旧温対法) kg-CO2/kWhの2種類の二酸化炭素排出係数で、2005年度の慶應義塾全体の二酸化炭素排出量の22%として概算すると、延べ床面積が変わらないとして10,340 t-CO2/年、14,740 t-CO2/年、の削減効果となる。

③【技術開発の詳細】

システムは下記の各要素技術(1)から(7)の項目を④システム構成に適応するCEMSパッケージ各要素技術((8)から(10)は、将来技術開発として実施した)

- (1)再生可能エネルギー等の分散電源と系統電源の安定供給を可能とする電力融通制御技術
- (2)電力融通を実施するための課金制度に関する社会科学手法
- (3)快適環境センシング・省エネルギー制御ネットワーク基盤技術
- (4)クラスター化全体管理技術
- (5)快適性(大学では知的生産環境)を維持しながら最大限の省エネルギーを実現する空調制御技術
- (6)民生用エネルギー消費で大きな割合を占める空調負荷を最小化するための建築的視点からのパッシブ技術
- (7)高度エネルギー利用システムの定量的指標を示す統合評価技術
- (8)太陽熱利用エジェクタ冷房システム技術
- (9)ハイドレート蓄冷熱槽技術
- (10)再生可能エネルギー利用のための計画的最適導入手法の開発

④【システム構成】

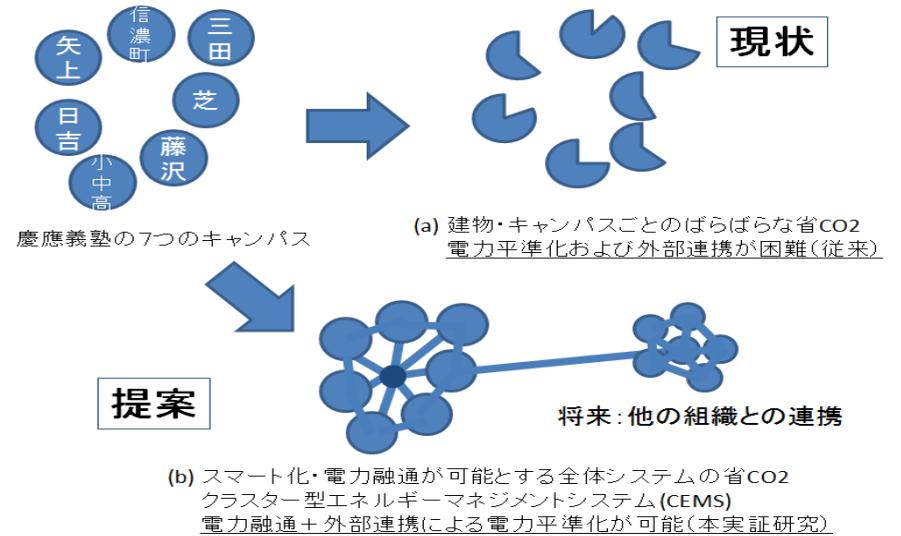


図1 クラスターによる事業者単位のエネルギーマネジメントシステム(CEMS)

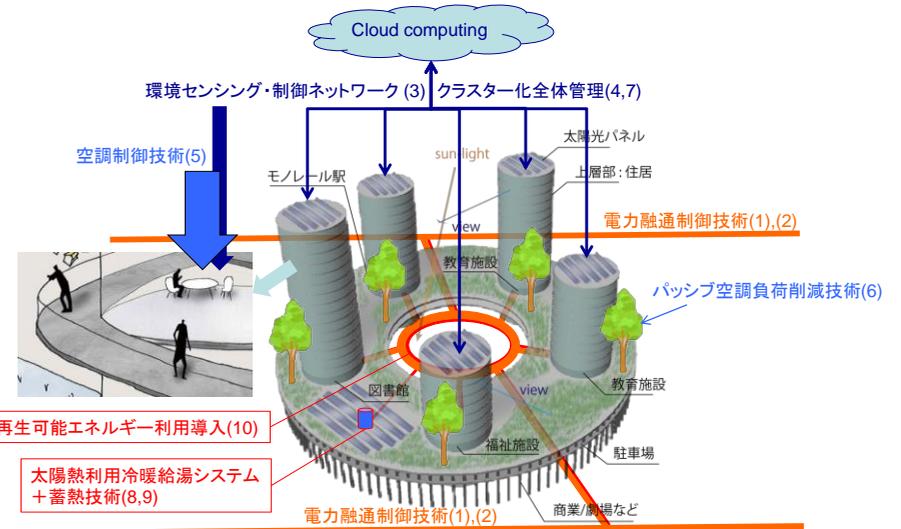


図2 CEMS構築のための10の③各要素技術の位置づけ

## (2)事業の必要性

### ①【技術的意義】

○省エネを要素機器の高効率化に頼るのではなく、要素技術を統合し、且つ複数事業所を一元化した全体システムによって実現するようにパラダイムシフトする統合技術開発を目指した。そこには科学的・技術的かつソフトウェアおよびハードウェアの新たな開発要素があり、先導性のあるシステム技術開発およびその実証の例として今後様々な省エネシステムの開発に役立つことが期待できる。

○先進熱供給システム開発： クラスター型エネルギー管理システム(CEMS)の大学キャンパスにおける実証から、建物間および事業者間相互にエネルギーの不足や余分を融通し合い、需要平準化を実現するとともに、自由度のあるエネルギー供給の仕組みにより、省エネ・省CO2を行う基盤確立に役立つことが期待できる。

○省CO2要素技術として、下記の新たな設備の開発あるいは普及が期待できる。

- (1) スマートテクノロジー：家電向け短距離無線通信規格によるCO2濃度、温度、湿度、照度の快適空間環境センサネットワーク・省エネ制御技術
- (2) 知的生産環境：知的生産効率に配慮した温度、湿度、風、CO2濃度の制御技術
- (3) 分散電源と系統電源の安定供給を可能とする電力融通制御技術
- (4) エネルギー利用設備のクラスター化全体管理技術
- (5) 先進熱供給開発：ハイドレート蓄熱槽および太陽熱エジェクタ冷房システム技術

### ②【社会的意義】

○省エネ設備導入や温度設定などに頼った建物単位で進める対策では、エネルギー消費の削減に限界がある。法整備等を前提に、離れた場所に分散している複数のキャンパスを統括した組織全体をひとつの単位(クラスター)とするシステム的なエネルギー管理の実施が有効であると考えられる。すなわち、省CO2に関して、要素機器の高効率化等に頼るのではなく、全体システムを捉えて設備の効率的な運用を実現し、自然エネルギーやコージェネレーション等の分散電源による自立的な安心基盤を含む設備を全体管理する方向にパラダイムシフトする実証研究および技術開発の社会的意義は大きい。

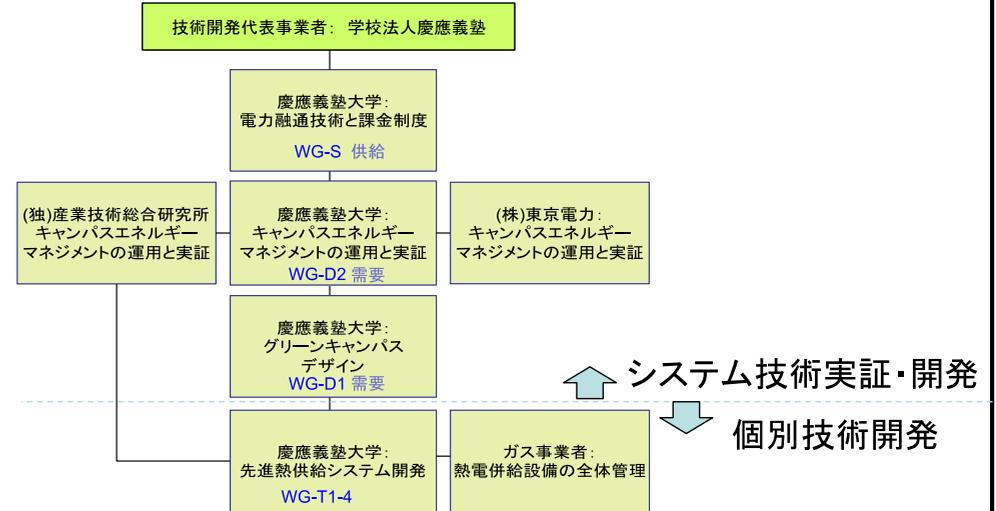
○再生可能・コージェネ分散電力と大規模系統電力の連携供給、電力平準化を可能とする熱・電力の需要・供給最適化など、相互に不足や余った分を電力融通し合う電力供給の仕組みによる省エネ・省CO2の実現を目指す基盤実証研究である。その中で、将来の電力融通課金制度の確立に資する実学として制御工学的モデリングによる提案を行った。早期実現を目指すための社会的・経済的課題解決に資するエネルギー供給の新たな枠組みとしての基盤科学であり社会的意義は大きい。

○分散電力と大規模系統電力の連携をはかり、各キャンパスのエネルギー供給をwin-winの関係によって連携させることで、全体システムの大きな省エネルギーを実現するクラスター型エネルギー管理の考え方は、マイクログリッドのスマート化を目指す欧米の技術に対抗できるもので、日本の優れた電力供給技術を、アジア圏を含む世界の都市開発事業に展開できる道を拓くものである。従って、本事業は国が中心となって進めるべき事業としてふさわしいものとする。

## (3)事業の効率性

### ①【実施体制】

事業実施体制については、システム技術として先導性のある開発が行える組織とした。すなわち、経済的および社会的制度の仕組みの創発が可能であり、経済と工学分野の融合、そして産官学の連携による早期の普及を目指す総合的なアプローチを可能とする下記の図に示す体制で行った。



### ②【実施計画】

	H23年度	H24年度	H25年度
下記全ての項目			→
(1) 電力融通技術と課金制度	3,916千円	3,061千円	4,396千円
(2) キャンパスエネルギー管理システム の運用と実証	50,058千円	36,737千円	35,072千円
(3) グリーンキャンパスデザイン	4,044千円	3,061千円	5,460千円
(4) 先進熱供給システム開発	12,459千円	11,022千円	11,623千円
(5) その他(消費税、間接経費等)	19,523千円	16,164千円	16,213千円
合計	90,000千円	70,045千円	72,764千円

## (4)事業の有効性

### ①【目標設定・達成可能性】

#### ○過去の実績

2005年度の慶應義塾大学5キャンパスの二酸化炭素排出量は47,600 t-CO<sub>2</sub>(但し、排出係数0.386 kg-CO<sub>2</sub>/kWh)、ほぼ同量の排出量であった2008年9月から2009年8月までの薬学部および付属高校を加えた慶應義塾の7キャンパス全体で、47,000 t-CO<sub>2</sub>/年あるいは67,000 t-CO<sub>2</sub>/年(各0.332, 0.555 kg-CO<sub>2</sub>/kWh)のCO<sub>2</sub>排出量であった。

#### ○最終的な目標:

本実証研究では、二酸化炭素排出量原単位の22%のCO<sub>2</sub>削減を目標とした。延べ床面積が一定であるとする慶應義塾全体の総量では、各排出係数あたり10,340 t-CO<sub>2</sub>/年あるいは14,740 t-CO<sub>2</sub>/年の二酸化炭素排出量削減となる。

これまで本実証研究は慶應義塾全体ではなく、初年度である平成23年度は東京都港区の三田キャンパスで検証を行った。平成24年度および25年度は横浜市港北区の矢上キャンパスに拡大して検証を進めた。主に文系の三田キャンパスおよび理工学部の矢上キャンパスのエネルギー消費実績は慶應義塾全体の約11%および約17%である。本実証試験では、多くの学部1・2年生が学ぶ日吉キャンパスにまで拡大する予定であったが現状の空調設備の制御システムに問題があり省エネ制御はできないことが判明した。最終目標は慶應義塾全体で2005年度比二酸化炭素排出量原単位の22%の削減が可能となる結果を実証し、その具体的対策を示すことである。

### ②【事業化・普及の見込み】

本実証研究は、多彩な研究者を擁する慶應義塾大学と、専門的技術蓄積をもつエネルギー供給企業である東京電力(株)、それに自治体等の省エネ管理に多くの実績をもつ産業技術総合研究所の共同事業として実施した。さらに、個別技術開発においては、東京ガス(株)の協力も得て開発を行った。最終年度は、多くの自治体や資料館等のWEBや画面表示に実績のあるLPG製造販売事業者のWEBコンテンツ事業に最終利用者の巻き込み情報部および全体管理データベース自動生成システムの構築を依頼し、基本的な成果は既に普及可能な状態となっている。知的生産効率と省エネルギーを同時に実現する事業者の全体エネルギー管理システムとして、多くの教育機関をはじめ、多くの民間企業においても、順次普及することを期待したい。

#### ○事業化計画

本事業のCO<sub>2</sub>・照度・温度・湿度無線通信センサーネットワークおよびタスク空調・照明システム、そして全体管理システムのパッケージに関しては、大学、エネルギー供給企業、独立行政法人の共同事業であるため、直接的な事業化は困難である。但し、エネルギー供給企業の協力が得られることにより上述のWEBコンテンツ事業者により、直ちに浸透し普及できる基盤技術は整備されたと考えている。

一方で、電力融通シミュレーション技術(課金モデリングおよび建物間電力融通システム)の実現に関しては、法整備等のインフラ整備がまず必要である。

先進熱供給システムとしてのハイドレート蓄熱槽・太陽熱利用エジェクタ冷房システム技術は、まだ事業化まで完成した技術ではないが、将来技術の可能性を示すことができた。将来実現すべき技術開発として研究を継続して行きたいと考えている。

## (5)事業終了後の展開

本実証研究では、地理的に離れたキャンパス間を含めた大学(事業所)全体のエネルギー設備の全体管理の構築とエネルギー融通を含む運用を行うクラスター型エネルギーマネジメントシステム(CEMS)の必要性を提案し、その実現の可能性と実証を行うものであった。実際の大学キャンパスで代表的用途の建物における知的生産環境を無線のセンサネットワークにより詳細に測定することから始め、知的生産効率に十分配慮しながら室内環境を制御するなど、これまで全く存在しない多分野共同のシステム技術開発とその実証を行った。今後の需要サイドでの省エネおよびエネルギーマネジメントにおいて、大学にとっても、エネルギー供給会社にとっても、あらゆる民間施設、行政にとっても極めて貴重な実証試験データを提供できたと信じている。

対象は大学であるが、総合的なシステム技術のためのデータ基盤の構築、蓄積およびその公開は、企業等の事業所においてもそのまま応用が可能であり、本実証研究の成果の広範な応用が将来に期待できると考えている。エネルギー供給会社からの提案を含め、省エネの実現、需要家(消費者)側のエネルギーマネジメントシステムとしての普及が期待される。

消費者側の分散電源を含めたエネルギー利用設備の高度運用化を目指して、システムとその運用評価に役立つ定量的な指標を検討した。今後、エネルギー担当者のみではなく事業経営者が、事業者の所有している電力およびガス設備の事業者全体システムの高度化に役立つ定量的評価による「見える化」を可能とする指標を提案した。このような事業経営者に、エネルギー設備の高度利用化に関心をもってもらえるインフラストラクチャの整備が、エネルギー利用システムに社会貢献できる視野をもつ事業者育成に必要であり、将来の社会全体のエネルギー利用の高度利用化にインセンティブを与える「指標」として価値ある評価となることを期待している。

各事業所と全体を評価するためのエネルギー設備評価指標は下記の5項目である。

- (1)各事業所と全体の二酸化炭素排出量(基準年比等)
- (2)電力設備: 熱需要供給への適切さ(電力のエクセルギー損失の減少を狙う)
- (3)電力設備: 系統電力ピーク削減への寄与度(商用電力の設備利用効率向上を狙う)
- (4)ガス設備: 排熱利用の適切さ(廃熱に含まれるエクセルギーの減少を狙う)
- (5)ガス設備: ガス発電運用効率(ガスのエクセルギー利用向上を狙う)

既に、知的生産効率センサネットワークとエネルギー設備全体管理システムを組み合わせたパッケージとして、WEBコンテンツ事業を行うエネルギー事業者が、事業者毎にパッケージ化して製品化することはすぐにできる段階にあると判断している。①スマートフォン等を利用した最終利用者の組込、②エネルギー設備担当者への情報提供および空調設備等の集中制御サービス、③事業経営者向けのエネルギー・環境評価の月報および年報の自動生成が可能である。今後はエネルギー設備の最適導入・運用サービスおよびエネルギー融通による更なる省エネルギーの実現を目指した高度化が必要である。

以上

## CO<sub>2</sub>排出削減対策技術開発評価委員会による終了課題事後評価の結果

- 評価点 5.7点（10点満点中）
- 評価コメント
  - 計画どおり事業が実施されており、当初の目標は概ね達成されている。
  - 本事業の成果、技術の優位性等を明確にしつつ、本技術の他施設への普及を図るため、情報発信等を含めより一層の努力を行うこと。