

科学技術振興調整費

「地域水素エネルギー利用システムの研究」（平成 17-19 年度）

国土交通省国土技術政策総合研究所 澤地孝男

研究担当機関： 国土交通省国土技術政策総合研究所
(株)システム技術研究所
日本女子大学家政学部住居学科

主な研究協力機関：(独)建築研究所
(財)建築環境・省エネルギー機構
(株)日本環境技研
(株)アーキテックコンサルティング

1. 事業の概要

これまで開発が取り組まれてきた燃料電池の技術が広範な応用の域に達しつつある。いうまでもなく、同技術は水素をエネルギー源として、電力と熱を発生させるものであり、その両者を需要側がうまく活用することによって、高い総合エネルギー効率が期待できる。エネルギー需要は、産業部門、運輸部門、民生部門等に分けることができる。それらの中で主として民生部門、即ち業務用建築及び住宅における業務や生活を通じて消費されるエネルギーは、我が国においては全体の約 3 割を占めるものであり、都市域においては最大のエネルギー使用先であるとも言える。

本研究は、業務用建築及び住宅といった、都市のごとき或る地域内に集中して存在するエネルギー需要に応えるための地域的、面的なエネルギー供給システムの将来像を合理的に検討するために不可欠であると言える評価手法を開発すること、またそれを適用して地域水素エネルギーシステムの課題を抽出するとともにその解決の要諦を明らかにすることを目的としている。

具体的には、地域における各種の水素利用システムを提案し、その経済性と環境適合性を評価するため、以下の 3 つのサブテーマを設定した。

- 1) 集合住宅、業務用ビル、街区におけるエネルギー需要の分析
- 2) 水素供給システムの特性分析と水素利用方法のモデル化
- 3) 水素エネルギー利用システムのフィージビリティ評価

2. 開発目標

水素エネルギー利用システムは、効率が高く環境への負荷を小さくできる可能性があり、先端的技术開発として日本にとって重要な戦略的な課題である。さらに将来の都市における民生用エネルギーシステムの構築に不可欠で、同時に地球温暖化対策技術のひとつとして緊急性が極めて高い。そこで、本研究では集合住宅、業務用建物、街区に適した水素エネルギー利用システムを提案し、その経済性と環境適合性の評価、技術的課題の抽出を行うことを目的とした。

具体的には以下が研究成果である。

- ① 地域エネルギーシステムの簡易評価プログラム
- ② 集合住宅におけるエネルギー需要想定手法

- ③ 業務用建築物におけるエネルギー需要想定手法
- ④ 代表的地域エネルギーシステムの評価事例の作成
- ⑤ 地域水素エネルギーシステムの特徴と今後に向けての課題と展望の整理

3. 事業成果

3-1. 地域エネルギーシステムの簡易評価プログラム

地域内における熱及び電力需要に係る種々の条件を入力として、地域水素エネルギー利用システムを初めとして、既存システムを含む種々のエネルギーシステムの特性を評価するためのプログラムである。出力としては、エネルギー消費量、二酸化炭素排出量、経済性とする。地域水素エネルギー利用システムとしては図1の如き全体像を想定している。システムを構成する要素の特性は既存資料を吟味して定めるが、固体高分子型燃料電池に関しては模擬居住条件下において実験を行なった結果を活用している。

- 入力
地域にある建物とエネルギー需要、エネルギー供給源、システム構成の設定
- 需要側構成要素
集合住宅、業務用建物、ホテル、病院
- エネルギー供給源
系統電力、都市ガス、工場副生水素、太陽光発電、風力発電
- システム構成
燃料電池、改質器、水電解、水素タンク、電池、蓄熱タンク
- 計算
1時間ごとの1年間のシミュレーションにより、一次エネルギー使用量などを既存システムと比較評価

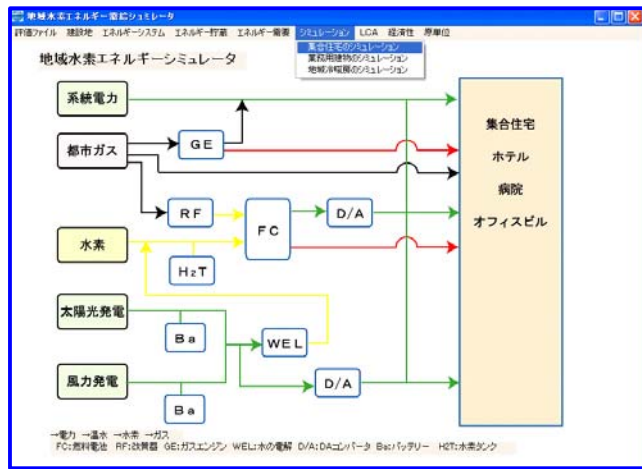


図1 地域水素エネルギー利用システムの構成概要

簡易評価プログラムでは、燃料電池の特性により部分負荷に対する効率を計算し、運転状況に応じて、正確なエネルギー分析ができるようにした。

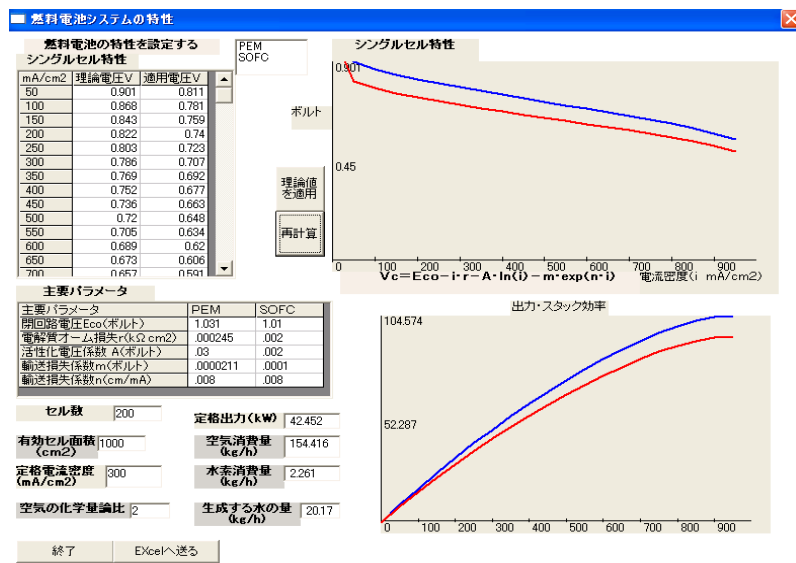


図2 燃料電池の性能設定の画面

集合住宅のエネルギー需要については、階数とフロアあたり戸数を設定し、統計的な世帯属性を満たすようにランダムにエネルギー需要を設定するか、または、家族構成やエネルギー消費の多少など世帯属性を任意に選択して1時間毎の電力、給湯、暖房、冷房エネルギー需要を設定することにより、集合住宅の多様なエネルギー需要について、複数戸に1台の燃料電池を設置した場合のシミュレーションを可能にした。

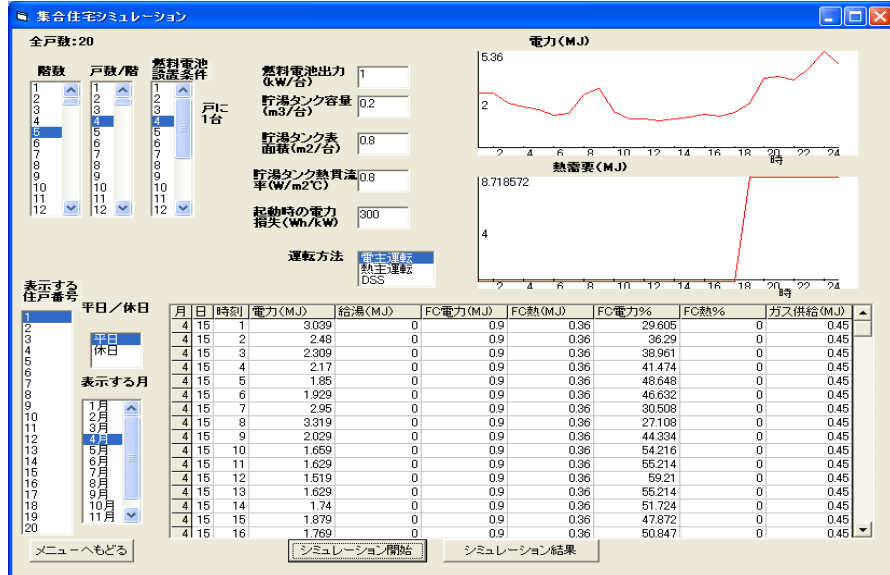


図3 集合住宅のエネルギー需要の設定とシミュレーション

LCA 評価では、エネルギー・シミュレーションを行ったシステムについて、その製造時と運転時のエネルギー投入量及びCO2 排出量を計算し、既存システムとの比較評価を行えるようにした。

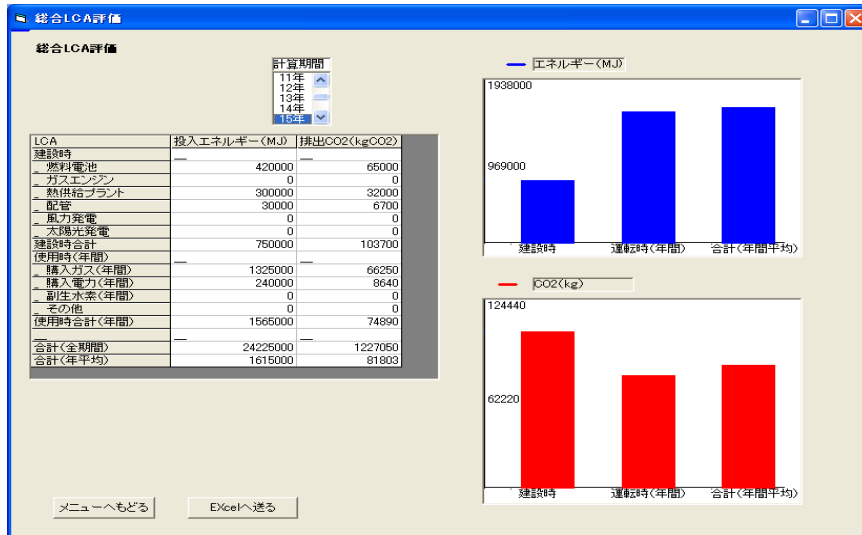


図4 LCA 評価

経済性評価では、エネルギー・シミュレーションを行ったシステムについて、初期コスト（各プラントコスト+配管等コスト）、運転コスト（運転用エネルギーコスト+保守コスト+人件費等）、売上、金利等を計算し、既存システムと比較して経済性の総合評価分析を行えるようにした。

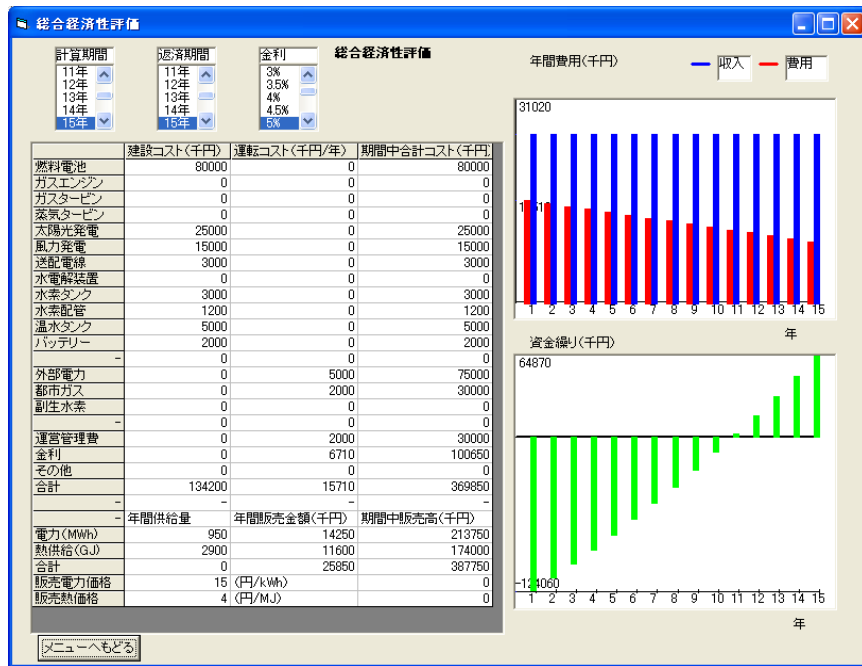


図5 経済性の総合評価

3-2. 集合住宅及び各種業務建築におけるエネルギー需要想定手法

(1) 集合住宅におけるエネルギー需要想定手法

住宅のエネルギー消費構造に関しては近年実施されるようになった実態調査で新たな知見が得られたため、家族人数や生活時間、使用設備機器といった要因が変化した場合のエネルギーシステムの効用評価がより詳細に行なえる素地が整った。そこで本研究では、家族人数、年齢層、エネルギー消費傾向(多消費・標準・少消費)、建物属性に関して、多様な熱及び電力需要をモンテカルロ法によって発生させることのできる手法を開発した(図6)。

本手法では、住宅のエネルギー需要量を電力、給湯、暖冷房に分けて算定した。電力需要、給湯需要については、実測結果をもとに季節(月)別、平休日別に計算条件を設定し、モンテカルロ法により時刻別需要量を1日単位で発生させた。年間8760時間の需要モデルは、この日単位のデータを連結することにより作成した。一方、暖冷房需要については気象条件が無視できないため、熱負荷計算(SMASH Ver.2)により求めた。ただし、全世帯が毎日在宅といった状況は現実的でないため、モンテカルロ法により不在日を設定し調整した。

モンテカルロ・シミュレーションの基本フローを図7に示す。計算条件としては、ある時間帯に需要が発生する平均頻度、平均需要量(吐水量または電力消費量)とその平均継続時間、およびこれらの分布形を与えた。乱数により確率的に需要発生の有無を判定し、発生した需要を時系列的に合成した。電力需要については空調換気、厨房、娯楽情報、家事衛生、照明・その他の5用途、給湯需要については台所、洗面、シャワー・入浴、浴槽への落とし込みの4用途に区分した。なお、個々の世帯における用途間の需要の同時発生、例えば、「夜間であれば、テレビ視聴時には照明が使用される」といった関連性については、多数の世帯が集まることで全体的には調整され得ると考え、本シミュレーションでは考慮しなかった。

ある1住戸のエネルギー需要量については在・不在の状況を判定した上で合算、連結した。また、集合住宅1棟といった多数世帯の需要量については、世帯属性毎に算定した需要量を構成比率に応じて積算した。

世帯としてはエネルギー需要特性を考慮し、2人世帯；夫妻（非高齢，高齢），4人世帯；夫妻+子2人，夫妻+子1人+高齢女性，妻の属性；在宅，勤務を想定した。また，水素エネルギー利用システムは当初，大都市圏で構築される可能性が高いと考えられることから，首都圏，大都市圏の集合住宅居住者に関する統計資料をもとに基本的な構成比率を仮定した。モンテカルロ法による給湯需要，電力需要の推計例を図8，図9に示す。

この手法により、住宅におけるエネルギー需要を固定的に捉えるのではなく、中長期的な入居者の入れ替わりや需要の変化に対する種々のエネルギーシステムの特徴を把握することが可能となった。

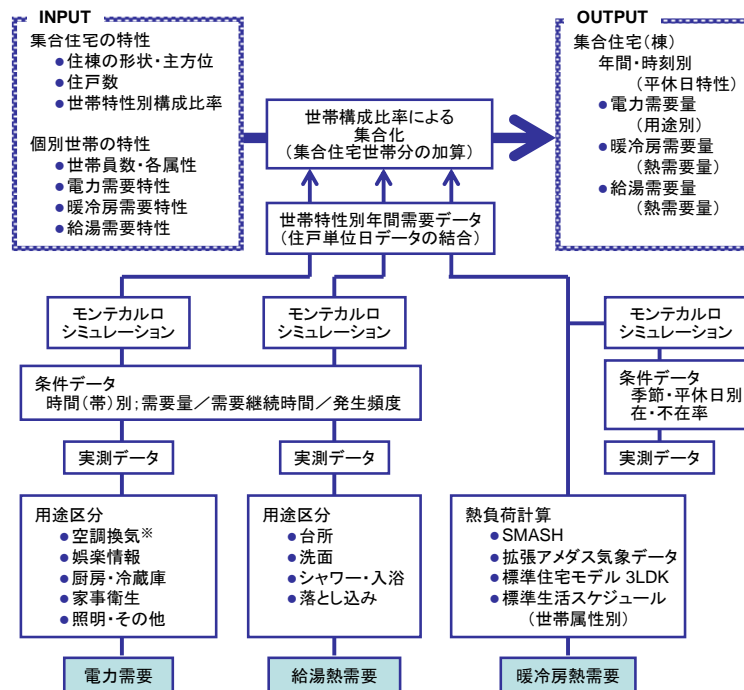


図6 集合住宅住棟のエネルギー需要の推計手法概要

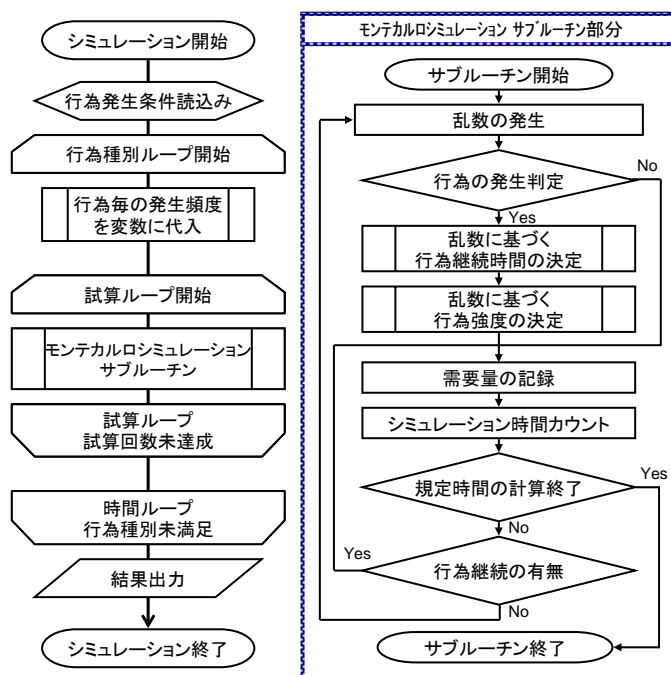


図7 モンテカルロシミュレーションのフロー

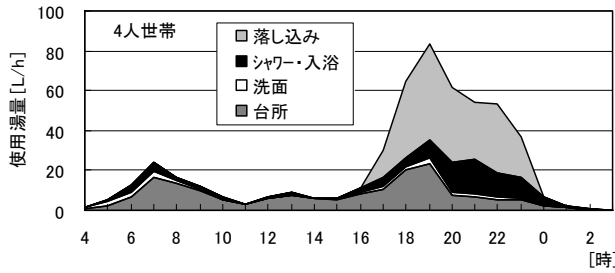


図8 給湯需要に関するシミュレーション結果
(4人世帯, 冬期平日, 40℃換算量)

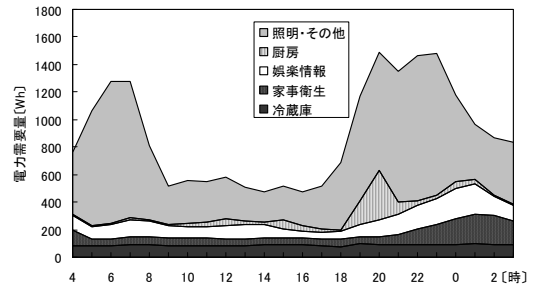


図9 電力需要に関するシミュレーション結果
(4人世帯, 冬期平日)

(2) 各種業務建築におけるエネルギー需要想定手法

熱需要が比較的に多い宿泊施設と医療施設に加えて、構成比率の多い事務所施設及び商業施設を対象としてエネルギー需要データを収集し、新たな原単位を定めた。

収集したデータは、表1に示すような各用途の施設において、BEMS(Building Energy Management System)に記録された毎時データである。

データの整理方法に関しては、ビルによってデータ形式に差異はあるが、原則として実測データを床面積で除したうえで平均化し、月別・曜日別日変動比、最大需要量、年間需要量、年間毎時需要量などを算出してデータベースとした。また、既往のエネルギー需要原単位データ*を整理し、今回の収集データによる値との比較を行なった。データベースの代表的数値を図10に示す。

このデータベースにおいて、最大需要量は設備容量を決定するためのデータとして、毎時需要量は年間のエネルギー需要量または需要量の日変動・季節変動を確認するためのデータとして有用である。また、ユーザーの希望に応じて、収集データの値あるいは既往データによる値を選択して使用することができる。

*① 『住宅のコージェネレーションシステム計画ガイド』(財)住宅・建築省エネルギー機構 ② 『CGS 設計法に関する研究』(社)空気調和・衛生工学会 ③ 『コージェネレーションシステム設計・計画と評価』(社)空気調和・衛生工学会

表1 各種業務建築におけるエネルギー需要に関する収集データ

ビル名	エネルギー種類	用途内訳	期間 データの形式	項目	備考
Aビル (10,600㎡)	電力	宿泊	2005年4月 ~2006年3月	・電灯コンセント系統 ・一般動力系統	・一般動力はデータの変動が大きい。 ・各月一週間分のみ
(17,400㎡)		商業 (物販)	"	"	"
(2,800㎡)		商業 (食品スーパー)	"	"	"
Bビル (14,000㎡)	電力	業務	2005年4月 ~2006年3月	・電灯コンセント系統 ・一般動力系統	・10/31データ欠落(10月の平日平均で補完)
Cビル (27,400㎡)	電力	医療	2005年1月 ~2005年12月	・電灯コンセント系統 ・一般動力系統	・一般動力はデータの変動が大きい。 ・NAS電池蓄熱(+0.7)
Dビル (82,140㎡)	給湯	宿泊	2005年1月 ~2005年12月	・客室・宴会場フロア(18240㎡) ・客室フロア(15200㎡) ・客室・会議室・フィットネスフロア(15960㎡) ・フロント・テナント・管理フロア(32740㎡)	・貯湯槽補給水量から、給湯エネルギー量を計算

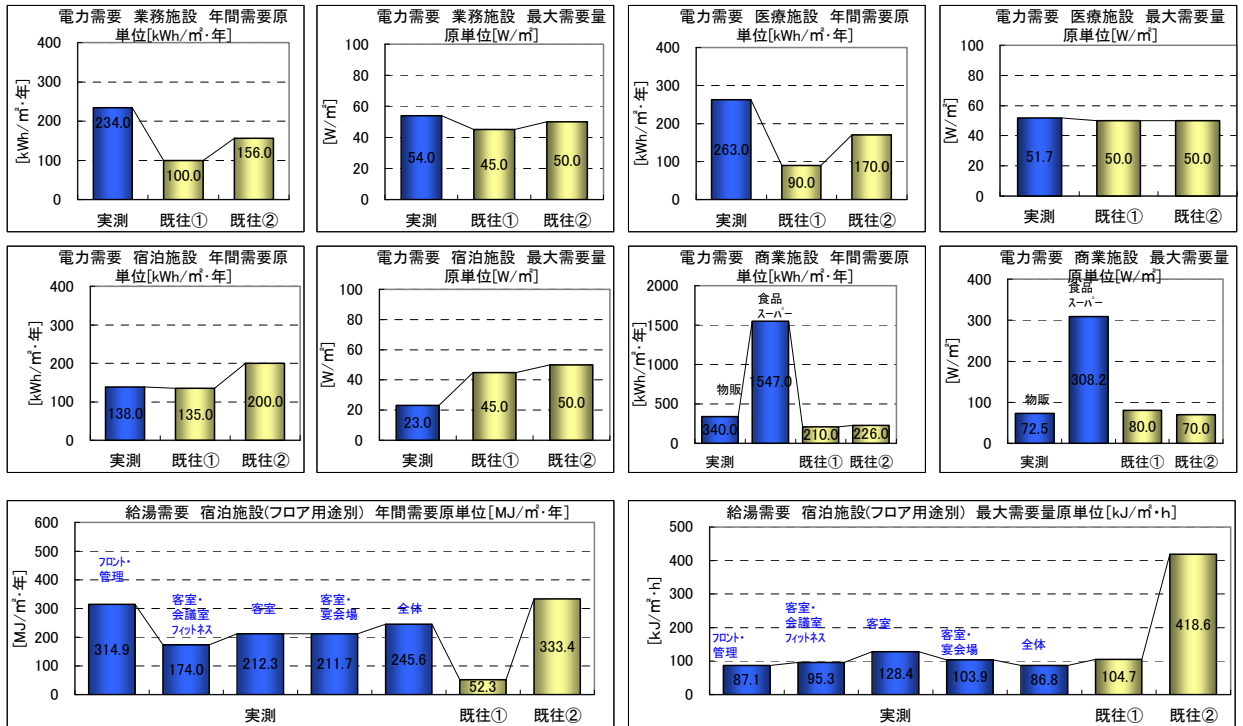


図 10 業務建築に関するエネルギー需要原単位

3-3. 代表的地域エネルギーシステムの評価事例

地域的なエネルギー供給システムといっても、対象とする地域は様々であり得る。あまりに低密度広範囲な地域を対象とするよりは、今後において地域水素エネルギー利用システムが初期に適用される可能性の高い大都市圏の地域を想定した検討が望ましい。それであっても、地区属性分類としては表 2 に示す「ニュータウン開発地区」、「新都心開発地区」、「都心再開発地区」、「駅前再開発地区」の 4 分類があり得ると考えられたが、本研究ではまず「ニュータウン開発地区」を前提に評価を進めることとした。既往の地域エネルギーシステムの適用地域に関する情報を分析して、地域（業務・商業・病院・公共施設[延床面積 29 万平米]及び集合住宅[任意に想定]から構成される地域[地区面積約 14 万平米]）を想定した。ただし、建物用途構成及びエネルギー消費構造は比較的自由に想定可能であり、ここでは、表 2 に示した「ニュータウン開発地区」の現状建物用途と延床面積より推定される熱電比（=年間冷温熱需要量÷年間電力需要量）がおよそ 1.3 となることをベースとして、合計建物延床面積が同じとなるように、建物用途と規模を変えることにより、熱電比が大（2.0）、中（1.3）、小（0.8）の 3 つの評価モデルの条件を表 3 のように設定した。これは、建物の用途と規模が変わると、同じ延床面積でも地区全体の熱需要量と電力需要量が変わり、電力と熱を供給するコージェネレーションシステムの適用効果に影響を与えることが予想されるためである。

図 11 に既存エネルギーシステムを対象とした評価結果の一例を示す。この評価例は、都市ガス方式による地域エネルギー供給システムを前提として、従来型のガスエンジン発電機によるコージェネレーションシステムを導入した場合の省エネルギー効果を試算したものである。導入する発電機容量を地区全体の最大需要電力との比率（自立電源比率）で 30%、50%、100%と増大させていくと、熱電比小（0.8）モデルでは熱需要量が少なくなるため、排熱利用率は低下し、省エネルギー効果が抑えられる傾向がみられる。