

# 家庭用CGS・給湯用HPの大規模導入が日本のエネルギー需給・CO<sub>2</sub>排出量に及ぼす影響の評価

46207 戸張智貴

(指導教員 山地 憲治 教授)

Key Words : Heat Pump Water Heater, Co-generation system, capture and storage, CO<sub>2</sub>

## 1. はじめに

我が国の最終エネルギー消費の14.2% (2003年度) を占める家庭部門に対して、省エネルギー対策を行うことは重要性を増してきている。政府もヒートポンプ (HP) 給湯器ならびにコジェネレーションシステム (CGS) に関して導入目標を掲げ、市場においても高効率給湯器やCGSの投入・開発強化が実施されている。こうした機器の大規模導入は家庭における給湯用エネルギー源の変化や系統電力購入量の変化をもたらす。将来的な電源計画にも大きく影響を及ぼす。本研究では、個々の家庭の不確実な電力需要・熱需要に対して、HPとCGSの最適な運用を決定し、その一軒一軒の系統電力購入量を考えることで、従来の研究では考えられてこなかった各家庭での運用差にも目を向けている。また、供給側に目を向けると、京都議定書の発効に伴い、温室効果ガスとりわけCO<sub>2</sub>排出量の削減に力を入れる必要がある。CO<sub>2</sub>排出量削減のため、現在注目を集めている技術としてCO<sub>2</sub>の回収貯留技術があり、日本でも長岡市でその実験が行われている。本研究では、系統にCO<sub>2</sub>排出量制約がかかった場合、最適電源構成ならびにCO<sub>2</sub>回収貯留設備の導入がどのように変化しているかの検討も試みた。

## 2. 本研究の流れ

まず、全体の流れを図1に示す。

最初に各家庭での需要を作成する。ここでは当研究室で作成されたボトムアップシミュレーションにより、全国47都道府県・20家族パターン・6季節・10分単位の需要を作成し、都道府県による気温・家族構成比率・行動パターン・機器普及率の違いを加味している。

次にボトムアップシミュレーションにより作成した需要を用い、一軒一軒の家庭にHPやCGSが導入し、確率動的計画法を用いて最適な運用方を決定し、その際の系統電力需要の変化を算出する。

得られた系統電力需要に対し、HPやCGSの普及シナリオを与え、家庭部門の系統電力需要の2050年までの変化を加味し、それを最適電源構成モデルに反映し、電源構成ならびにCO<sub>2</sub>回収貯留設備の導入がどう変化していくか分析する。

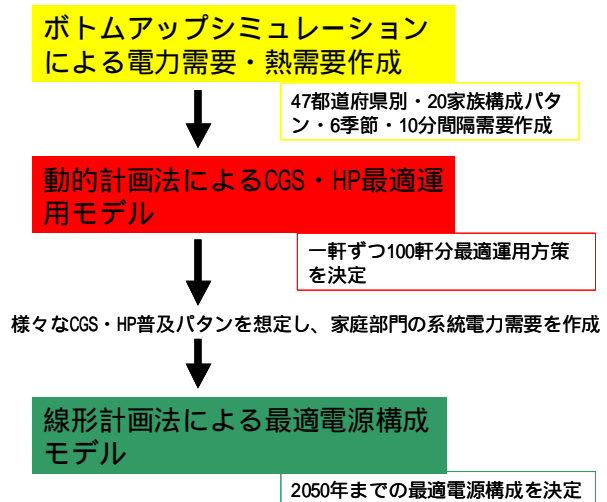


図1 研究の流れ

## 3. ボトムアップシミュレーションによる需要の作成

当研究室で作成したボトムアップシミュレーションは世帯の中にある電気・ガス機器個々の時刻別需要をシミュレーションにより生成し、それらの和として世帯の需要を算出するものである。

まず世帯構成員とその行動を決め、それぞれの10分毎の各時点での行動や気温などの情報から各機器の起動確率を求め、それに機器毎の単位消費エネルギーを掛けることによってその機器の使用エネルギーを求める。そして、それを積分することによって日負荷曲線を生成した。

図2に作成した東京の5人家族、冬季平日の電力需要の例を載せる。時刻によって急峻なピークが表れ、不確実な需要となる様子が模擬できていることが見て取れる。

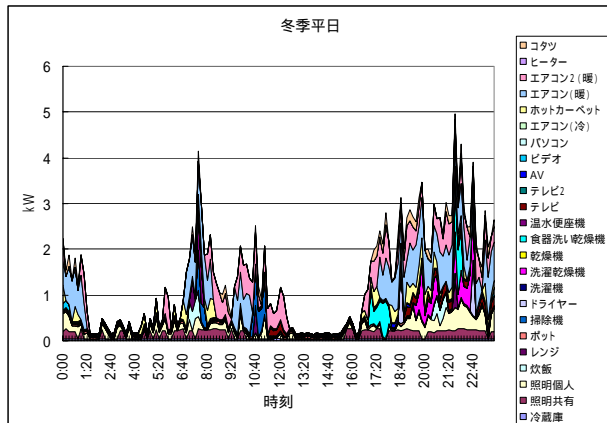


図2 東京五人家族冬季平日の電力需要

#### 4. CGS・HP最適運用方法の検討

##### 4.1 概要

ボトムアップシミュレーションにより作成した家庭における電力・熱需要は不確実性を伴い、負荷変動が大きく、負荷の集中する時間帯も日々変化する。そうした中で、CGS・HPのメリットを活かすような効率的な運用のためには需要家の電力・熱機器の使用傾向、CGS・HPの性能等を考慮した運用パターン決定方が不可欠である。そこで本研究では、確率動的計画法を用いて運用方を決定する。以下、その手順について示す。

##### 4.2 確率動的計画法によるエネルギーコスト期待値の計算

需要家の電力・熱負荷量の過去の変化は確率的に表現できるため、確率動的計画法を用いて、需要家のエネルギーコスト期待値を計算し、期待値最小となる動作（運転or停止）を選択することとした。以下にエネルギーコスト期待値を求める漸化式を示す。

$$Q_t(S_t, Dh_t) = \min(C(S_t, Dh_t, a_t) + \sum_{t=0}^{AllDh_{t+1}} Ph_{t, Dh_t, Dh_{t+1}} Q_{t+1}) \quad (1)$$

$$Q_t(S_t, De_t, Dh_t) = \min\left(C(S_t, De_t, Dh_t, a_t) + \sum_{t=0}^{AllDh_{t+1}} \sum_{j=0}^{AllDe_{t+1}} Pe_{t, De_t, De_{t+1}} Ph_{t, Dh_t, Dh_{t+1}} Q_{t+1}\right) \quad (2)$$

##### 4.3 CGS・HPシステム及びモデル仕様

次に対象としたCGS・HPシステム及びモデル仕様を示す。図3、図4に概略図を載せる。

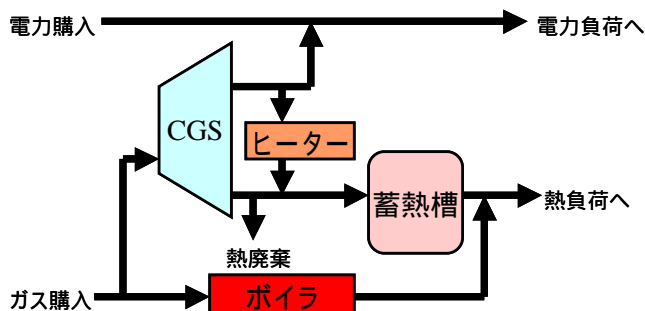


図3 CGS概略図

仕様

- ① 電力出力1[kW]、排熱出力3.25[kW]
- ② CGSの動作は運転（100%）と停止（0%）の2状態
- ③ CGSの運転で満たせない電力需要は系統から不足分を購入する
- ④ CGSの運転で消費しきれなかった電力はヒーターを使ってタンク内の湯の加熱に用いる
- ⑤ タンク内の湯量で熱負荷を満たせない場合はボイラを運転し、不足分の熱を供給する
- ⑥ タンク容量は300[l]
- ⑦ ガス料金・電気料金は地域によって異なる（表1）
- ⑧ CGSの動作は60分間隔

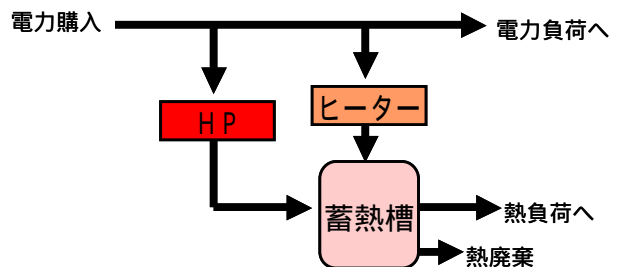


図4 HP概略図

仕様

- ① COPは外気温により異なる
- ② HP給湯器の加熱能力は4.5[kW]
- ③ HPの動作は運転（100%）と停止（0%）の2状態
- ④ タンク内の湯量で熱負荷を満たせない場合はヒーターを運転し、不足分の熱を供給する
- ⑤ タンク容量は370[l]
- ⑥ 電気料金は昼（07:00～23:00）、夜（23:00～07:00）、地域によって異なる（表1）
- ⑦ ガス料金は地域によって異なる（表1）
- ⑧ HPの動作は10分間隔

表1 設定電気料金（円/kWh）・ガス料金（円/m<sup>3</sup>）

地域	電気夜	電気昼	従来電気	従来ガス料金	CGSガス料金
北海道電力	6	27	22	176	78
東北電力	6	25	21	114	94
東京電力	6	26	21	112	92
北陸電力	7	26	21	115	94
中部電力	8	25	20	118	96
関西電力	7	26	19	119	82
中国電力	7	26	21	179	78
四国電力	7	26	20	134	78
九州電力	7	25	20	176	67

##### 4.4 シミュレーション手順

対象世帯の過去10日分の電力・熱日負荷曲線より

各時点間の負荷量遷移回数を求め、これを元に各時点間の負荷遷移確率を求める。そこで、より再現性の高い負荷量遷移回数を得るために適当な分散を持った正規分布で補完する。この負荷遷移回数から、電力負荷量遷移確率を導出し、漸化式 (1) (2) に従い、エネルギーコスト期待値を最小とするCGS・HPの動作を決定する。

#### 4.5 シミュレーション結果(東京)

図5、図6に一軒一軒の不確実な需要に対し確率動的計画法により運用を決定し、のちに100軒分平均したものを、図7、図8に先に需要を平均し、確定的な需要に対し、線形計画法で運用を決定したものを載せる(いずれも床暖房なし)。表2に運転コストや購入電力量、購入ガス量について比較したものを載せる。CGSでは運用時間帯に大きな差は見られないものの、動的計画ケースでは細かく需要に対応した運転をすることが出来ず、電力需要がある程度望める昼と夜に運転をする結果、排熱を有効に利用できず、運転コスト面で得にならない。床暖房を導入すると、熱負荷の増加により、運転コストも得になる。HPでは不確実な需要に備えるため、タンク湯量のある程度多く保とうとする運転パターンをとり、従来の提案されている夜間電力を利用した運転とはならなかった。購入電力量には大きな差が見られないものの、夜間電力を有効に利用できないため、運転コスト面で増加する結果となった。

ここで計算された購入電力量の変化、購入ガス量の変化を次章の最適電源構成モデルで加味する。HPで購入電力量の増加により、系統需要が増加する一方で、熱負荷に対するガス量がなくなる。CGSでは購入電力量が減少する一方で、発電のためのガス量の増加に繋がる。

表2 運転コスト・購入電力量・購入ガス量比

東京	CGS		HP	
	床暖房なし	床暖房あり	床暖房なし	床暖房あり
	CGS無比	最適運転比	CGS無比	最適運転比
運転コスト	1.003202896	1.166847173	0.87509079	1.198242467
購入電力量	0.743655494	0.87150668	0.754883525	1.185272458
購入ガス量	2.536791941	2.007626401	1.302753058	1.221547511
	HP		CGS	
	床暖房なし	床暖房あり	床暖房なし	床暖房あり
	HP無比	最適運転比	HP無比	最適運転比
運転コスト	0.894204191	1.202591772	0.797232529	1.386633048
購入電力量	1.14084579	1.004579599	1.347250025	1.000595847

(注：無比とはCGS・HPを持たないガスボイラで熱負荷をまかなう家庭との比)

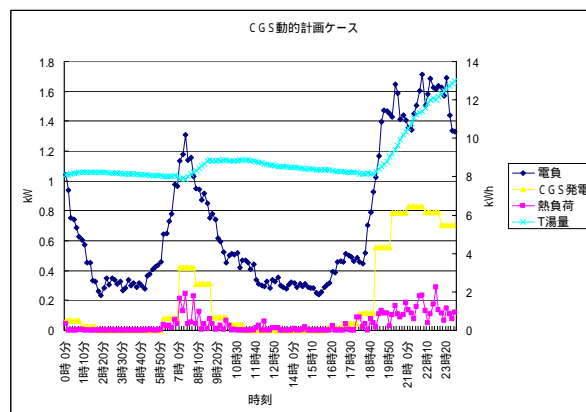


図5 CGS動的計画ケースの運用

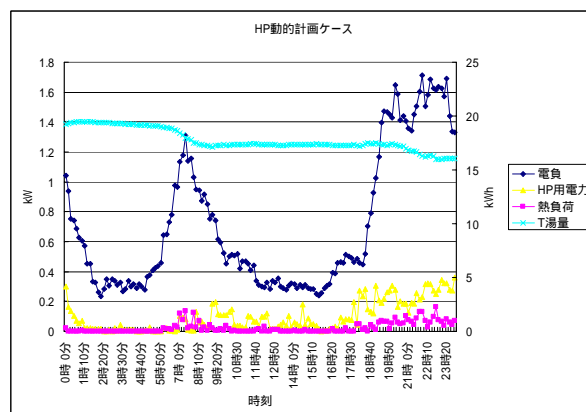


図6 HP動的計画ケースの運用

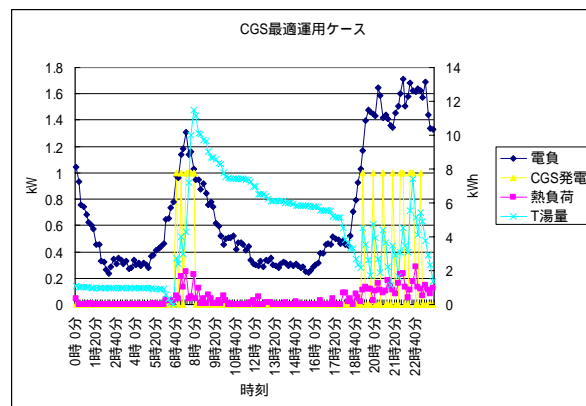


図7 CGS最適運用ケースの運用

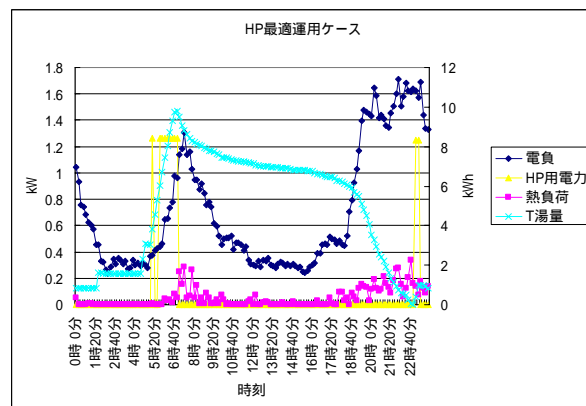


図8 HP最適運用ケースの運用

## 5. 最適電源構成モデル

### 5.1 概略

本モデルは需要に対して、日本全体の発電事業総費用を最小にするような電源構成、運用方法を線形計画法により求めるものであり、電源の特性やCO<sub>2</sub>削減なども盛り込んだ、電源・電力価値の解析が可能である。

### 5.2 設定条件

本モデルの主要設定条件を以下に載せる。

#### 基本構成

- ・ 目的関数：発電事業総費用（期間中の割引率は5%で現在価値換算）の最小化
- ・ 制約条件：電力需給制約、供給予備力制約、設備容量制約、発電出力制約、揚水式水力関連制約、電力融通制約、負荷追従制約、LNG消費量制約、CO<sub>2</sub>排出量制約、CO<sub>2</sub>回収設備制約、CO<sub>2</sub>貯留制約
- ・ 期間：2005年から2050年（10期間）
- ・ 対象：日本を9地域（北海道・東北・東京・北陸・中部・関西・中国・四国・九州）に分類
- ・ 電源：原子力、石炭、IGCC、LNG、LNG複合、石油、揚水、一般水力・地熱（外生値）、他社受電
- ・ 需要：各地域・年度につき24時間帯日負荷曲線（年間7パターン）を想定。参照ケース、2050年CGS100%普及ケース、2050年HP100%普及ケースの需要を使用
- ・ CO<sub>2</sub>回収設備：石炭・IGCC・LNG・LNG複合発電にのみ導入可能
- ・ CO<sub>2</sub>貯留：帯水層、油・ガス田、海洋帯水層、海洋への貯留を考慮する。輸送パイプライン、注入法等についても考慮

### 5.3 シミュレーション結果

図9、図10にCGS・HPが普及することで参照ケースから発電電力量がどう変化するか変化分を図示する。2050年頃になると、CGS・HPの大規模普及により、主にベース電源となる原子力、LNG複合火力の発電量を変化させることで対応している。図11、図12にCO<sub>2</sub>排出量8割削減ケースのCO<sub>2</sub>バランスを示す。主にLNG複合火力から排出されるCO<sub>2</sub>を油・ガス田、帯水層、海洋帯水層、海洋の順に使用していき、貯留する結果となった。

また、HPの導入により家庭で排出されなくなるCO<sub>2</sub>排出量は大きく、CO<sub>2</sub>排出量の8%程度の削減につながる結果となった。

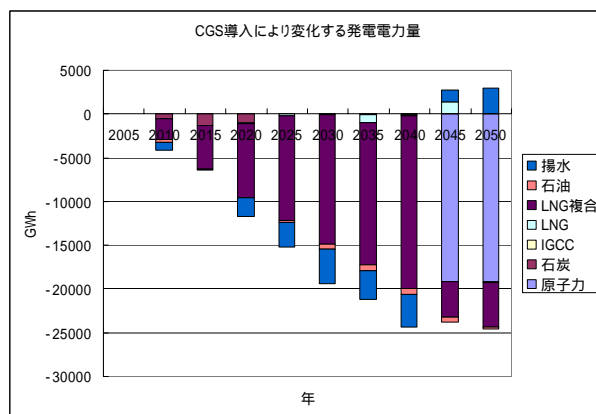


図9 CGSの普及により変化する発電電力量

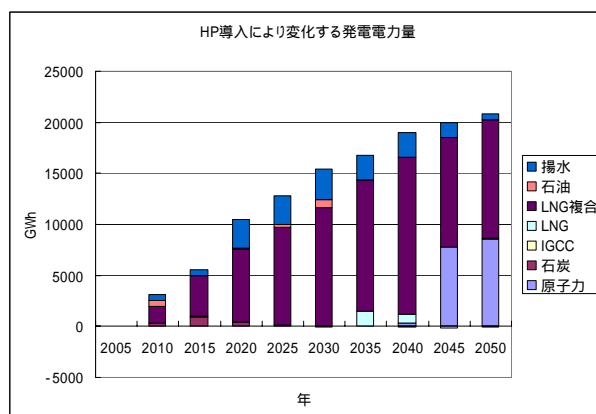


図10 HPの普及により変化する発電電力量

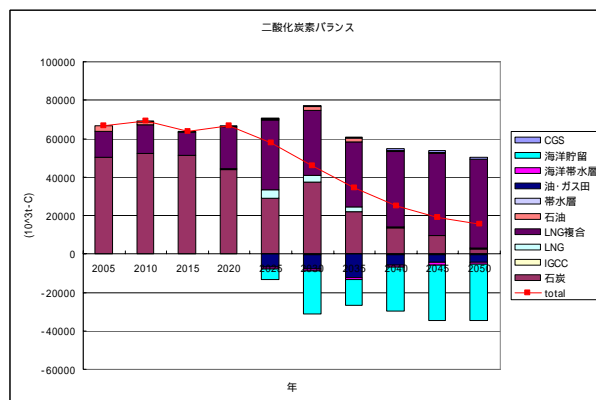


図11 CGSの普及時のCO<sub>2</sub>バランス（8割削減）

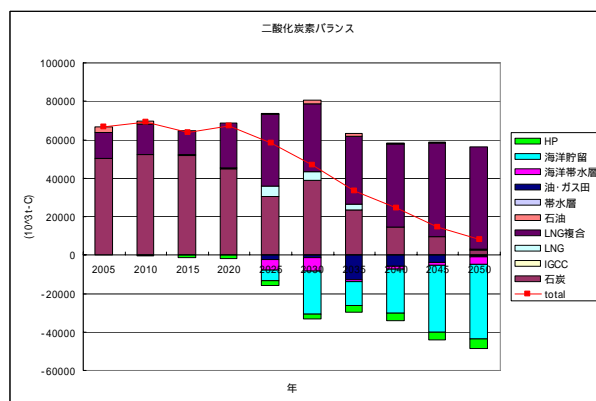


図12 HPの普及時のCO<sub>2</sub>バランス（8割削減）