

寒冷地住宅のコージェネレーションシステムのための 電力需要予測と評価

今野 陽子¹ 川村 秀憲¹ 鈴木 恵二²
 北海道大学¹ 北海道大学¹ はこだて未来大学²
 武田 清賢³ 横川 誠³ 古川 聡子³
 北海道ガス³ 北海道ガス³ 北海道ガス³

1 はじめに

近年のエネルギー事情を取り巻く課題として原子力発電，原燃料の海外依存，地球温暖化があり，それらへの対応策として再生可能エネルギーと省エネルギーがあげられる．再生可能エネルギーは持続可能なエネルギーとして注目されるが，天候や時間などに左右されて発電量が不安定である．北海道は再生可能エネルギーの資源賦存量が日本全体の 1/4 を占め，将来への展望を示すことが期待されている．一方，民生部門のエネルギー消費量は増加傾向にあり，家庭の省エネルギー対応も重要である．北海道では寒冷地の気候の影響から，家庭における一人当たりのエネルギー消費が高い傾向にある．これらを背景に，家庭向けの分散型発電として天然ガス等から発電するコージェネレーションが注目され，個別住宅や集合住宅において普及が進んでいる．コージェネレーションシステムは，家庭で発電することにより同時に発生する熱を回収して給湯や暖房に利用することで，エネルギー回収率を 4 割から最大 9 割へと高めることができる．また，将来的には電力市場の自由化，およびスマートグリッド化に向けて，再生可能エネルギーや蓄電池と組み合わせて使用することで，電力系統の安定化と効率化に資する可能性を持つ．本研究は，寒冷地での住宅向けコージェネレーションシステムの有効利用に向けて，北海道の家庭のエネルギー需要予測手法について検討し，システムの運転効率改善効果の評価を行う．

2 コージェネレーション利用の課題

住宅向けコージェネレーションシステムは，発電による排熱を給湯と暖房に利用するため，予め使用時間帯を見越して湯を貯湯する．効率的に運用するためには，実際にどの時間帯に需要があるかを過去の実績から算出して，それに合わせて運転計画を最適化する必要がある．現在，

北海道で市販化されている燃料電池のコージェネレーションシステムは，全国平均の気候をモデルケースとして設計されたものであり，寒冷地特有の需要に関する予測について考慮していない．寒冷地にある北海道では，外気温度の条件が非寒冷地とは異なるために年間の月別電力需要実績も全国平均と異なり，夏季に低く冬季に高くなる傾向にある(Fig.1)．また，北海道の家庭部門における一人当たりのエネルギー使用量は全国平均の約 1.5 倍となる．省エネ機器としては設置環境に応じた稼働が必要となる．

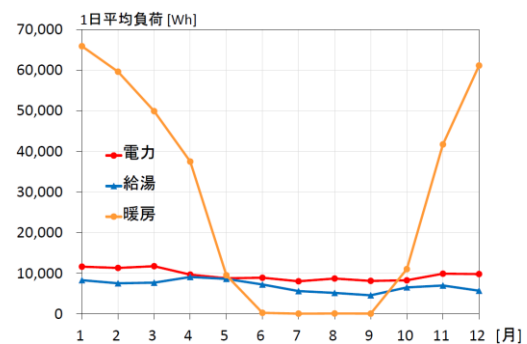


Fig.1. 札幌の一世帯の月別一日平均電力・給湯・暖房負消費量の例

3 コージェネレーションシステムの仕組み

本研究が対象とする家庭向けコージェネレーションシステム PEFC-CHP[※]は，発電時に電力はリアルタイムに消費され，発生する熱によって湯を作り貯湯タンクに貯める．発電の起動/停止が 1 日 1 回という制約があるため，運転計画は過去の消費量に基づいて 24 時間先までの消費パターンを予測して，稼働する時間帯が分かると良い．住宅の電力負荷が発電ユニットの最大出力より高い時，または発電していない時に不足電力を系統から賄う．システムは需要予測に従って必要であると判断する時間帯に発電する．予測が外れて貯湯タンクの湯が不足した場合にはボイラが稼働して補い，逆に余剰分は次に使用される時まで繰り越される．本研究では排熱

※PEFC(Polymer Electrolyte Fuel Cell): 固体高分子形燃料電池

Examination of Electric-Power Demand Prediction Method for Cogeneration System on Cold Region Households
 1 Yohko Konno, Hidenori Kawamura : Hokkaido University
 2 Keiji Suzuki : Future University Hakodate
 3 Kiyotaka Takeda, Makoto Yokogawa, Satoko Furukawa : Hokkaido Gas Co.,Ltd

を暖房に使用せず，電力と給湯の時刻別消費量を予測する．システムの運転効率の評価は，一次エネルギー削減量と CO2 削減量を指標とする．

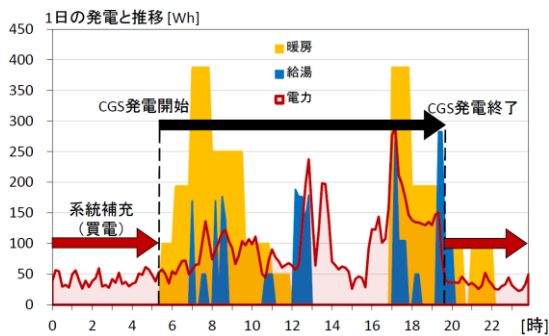


Fig.2. 一日の電力・給湯・暖房負荷の推移の例

4 予測アルゴリズム

検証実験には，札幌市とその近郊の戸建住宅 20 世帯を対象に，2 年分の電力，給湯の消費量を 1 時間間隔で記録した時系列データを採用する．予測手法を Table 1 に示す．前日をそのまま予測値とした手法と，人工ニューラルネットワーク (ANN: Artificial Neural Network) による手法について，実際の負荷と比較して予測精度を検証する．入力情報として，予測したい日の前日の 1 時間ごとの負荷を用い，さらに生活習慣や季節変動に関わる休日，最高気温，最低気温，1 日の総量も付加する．

Table 1. 電力・給湯の 4 種の予測手法

予測手法1	前日予測	入出力	前日の負荷をそのまま当日の予測値とする
予測手法2	ANN_24	入力層	前日の1時間ごと(計24時間)の負荷
		出力層	当日の1時間ごと(計24時間)の負荷
予測手法3	ANN_24 WT	入力層	1 前日の1時間ごと(計24時間)の負荷
			2 平日/休日区分
			3 最高気温, 最低気温
		出力層	当日の1時間ごと(計24時間)の負荷
予測手法4	ANN_24 WTD	入力層	1 前日の1時間ごと(計24時間)の負荷
			2 平日/休日区分
			3 最高気温, 最低気温,
			4 1日の総負荷
		出力層	1 当日の1時間ごと(計24時間)の負荷
			2 1日の総負荷

ANN の構成: 3 層, 学習: 誤差逆伝播法, 中間層=22, 活性化関数: シグモイド関数, 学習係数=0.1

5 予測検証実験

1 世帯ごとに電力と給湯の 2 年間分の観測データに対して，1 週間を 1 セットとして 10 週間 (=70 日, 約 10%) をランダム選択して予測日とし，残りの約 90% (閏年を含む場合は 661 日) を学習日として最大学習回数 5 千万回のランダムサンプリングによる教師データとする．5 千万回の全学習中，5 千回の学習スパンで予測結果をプロ

ットし，最も予測精度が良いタイミングの結果 (予測負荷) を取得する．この一連の学習・予測を 10 回試行した平均値を対象世帯の最終的な ANN の予測精度の結果とする．

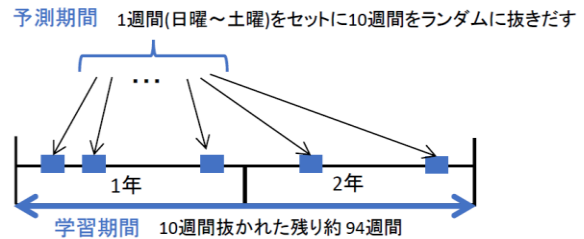


Fig.3. ANN の学習と予測のデータセット

6 検証結果

4 手法における 20 世帯の誤差率 (実負荷と比較)，および前日予測に対する誤差率の改善度を Table 2 に示す．最も高精度な手法は ANN_24WT で，休日と外気温を指標とする ANN の有効性が明らかになった．ANN_24WTD では，1 日の負荷の総計を用いると，給湯の 1 日総計誤差の底上げに寄与する可能性が示された．給湯の需要予測は，1 時間ごとの誤差累計が高い結果となった．しかし，コージェネレーションシステムの発電計画立案においては，1 時間ごとの細かい電力需要よりも 1 日の総需要の方が重要であるため，今後はコージェネレーションシステムの運転効率改善の効果についても評価を行う予定である．

Table 2. 電力・給湯 (20 世帯) の 4 予測方法による精度の比較

		電力			給湯		
		Average	Best	Worst	Average	Best	Worst
1時間毎誤差累計	前日予測	28.1%	20.6%	40.2%	129.2%	90.5%	155.3%
	ANN_24	22.7%	17.1%	33.2%	108.4%	75.9%	136.4%
	ANN_24WT	22.0%	16.4%	32.2%	105.8%	69.4%	135.6%
	ANN_24WTD	22.6%	17.6%	32.9%	107.2%	71.3%	136.1%
(改善度)	ANN_24	19.4%	16.7%	17.4%	16.1%	16.2%	12.2%
	ANN_24WT	21.7%	20.2%	19.9%	18.1%	23.4%	12.7%
	ANN_24WTD	19.8%	14.5%	18.2%	17.0%	21.3%	12.4%
1日総計誤差	前日予測	11.4%	8.0%	21.0%	43.0%	20.3%	59.7%
	ANN_24	10.3%	7.4%	18.1%	34.4%	19.3%	48.4%
	ANN_24WT	9.5%	5.9%	17.5%	32.5%	17.1%	45.7%
	ANN_24WTD	9.9%	6.7%	18.6%	32.7%	18.0%	44.1%
(改善度)	ANN_24	9.7%	7.4%	13.7%	20.0%	5.0%	19.0%
	ANN_24WT	16.9%	26.8%	16.6%	24.3%	15.7%	23.5%
	ANN_24WTD	13.0%	16.6%	11.4%	23.8%	11.4%	26.2%

1 時間毎誤差絶対値の累計 (= $\sum |1 \text{ 時間の実負荷} - 1 \text{ 時間の予測負荷}|$), 1 日 (24 時間) 総計誤差の絶対値 (= $|1 \text{ 日の実負荷} - 1 \text{ 日の予測負荷}|$)