

# 長岡市におけるコージェネレーション導入によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果の推定

環境システム工学課程 00383591

インフラ計画研究室 羽鳥やすこ

## 1. 研究目的

近年、地球温暖化が国際的な問題となっており、日本においても2010年までに1990年レベルに対しCO<sub>2</sub>排出量6%削減という課題が与えられ、温暖化防止に向け積極的にCO<sub>2</sub>排出削減を行っていかねばならない。また、エネルギー資源の乏しい日本はエネルギーの大部分を輸入に頼っており、エネルギーをいかに有効活用するかは重要な課題となっている。

現在は大規模集中型の発電所からのエネルギー供給が普通であるが、エネルギー供給の新しいシステムとして小型分散型発電システムの技術進歩が進んでいる。コージェネレーションもその一つである。コージェネレーションは発電を行いその時発生する排熱を有効利用するシステムである。利点としては、排熱を有効利用するのでエネルギー消費量を減らすことができる事、燃料は天然ガスであるためCO<sub>2</sub>排出量が少なく済む事等があげられる。現在コージェネレーションは、主に都心部などで導入されつつあるが住宅の多い都市においてもCO<sub>2</sub>排出削減や省エネ等といったコージェネレーションの効果を十分に発揮できるのではないかと考えた。そこで本研究は、長岡市の家庭、店舗事務所においてコージェネレーションシステム(CGS)の導入を想定し、その場合についてCO<sub>2</sub>排出量削減効果と有用エネルギー効率を検討し考察することを目的とした。

## 2. 研究方法

### 2-1. 熱需要と電力需要

対象地区は主に長岡市の市街化区域と周辺地域、422町丁目とした。熱需要や電力需要、ガ

ス消費量等は422町丁目について各々計算し削減量、削減率もそのようにした。熱需要・電力需要の計算に用いた負荷原単位を表-1に示す。

建物の用途は、課税台帳の用途区分より住宅・工場倉庫併用住宅・店事務所併用住宅・専用店舗事務所・その他の5つとした。工場は大容量のコージェネレーションが必要と考え、それは除いて考える事にした。

表-1 負荷原単位

用途	M cal/m <sup>2</sup>				kWh/m <sup>2</sup> 電力
	冷房	暖房	給湯	蒸気	
事務所	70	27	2	0	140
店舗	125	35	23	0	226
住宅	8	20	30	0	21
病院	80	74	80	132	170

### 2-2. 現状のシステムにおけるCO<sub>2</sub>排出量

現状のシステムとして暖房・給湯はガス暖房給湯器、冷房は電気冷房という設定をした。計算の流れを図-1に示す。用途の延べ床面積と負荷原単位から熱需要を計算し、次に熱需要を賅うのに必要なガス消費量を計算、そしてガス消費量と電力需要量からCO<sub>2</sub>排出量を求めた。これらの計算は冬期、夏期に分けて行った。

### 2-3. CGSにおけるCO<sub>2</sub>排出量

現在日本で発売されている中で最小のものは9.8kwガスエンジンコージェネレーションで、本研究ではそれを想定して推定を行った。家庭用1kw燃料電池CGSはまだ販売には至っておらず、実用化に向けて試験研究が進められている段階である。燃料電池CGSを導入した場合についても同様に推定を行った。9.8kwガスエンジンCGSと燃料電池CGSの各効率以下のである。

### 9.8kwガスエンジンCGS

- ・ 発電効率 : 23.5%
- ・ 熱回収効率 : 58.0%
- ・ 総合効率 : 81.5%
- ・ ガス1m<sup>3</sup>あたりの発電量 : 2.715kWh/m<sup>3</sup>
- ・ ガス1m<sup>3</sup>あたりの熱回収量 : 5,765kcal/m<sup>3</sup>

### 燃料電池CGS

- ・ 発電効率 : 35%
- ・ 熱回収効率 : 45%
- ・ 総合効率 : 80%
- ・ ガス1m<sup>3</sup>あたりの発電量 : 4.046kWh/m<sup>3</sup>
- ・ ガス1m<sup>3</sup>あたりの熱回収量 : 4,473kcal/m<sup>3</sup>

コージェネレーション導入におけるCO<sub>2</sub>排出量の計算の流れは図 - 2のようである。コージェネレーションの運転方法は熱主電従運転とした。これは熱需要に合わせて運転し排熱を余らせないため、一般的にエネルギー効率のよい運

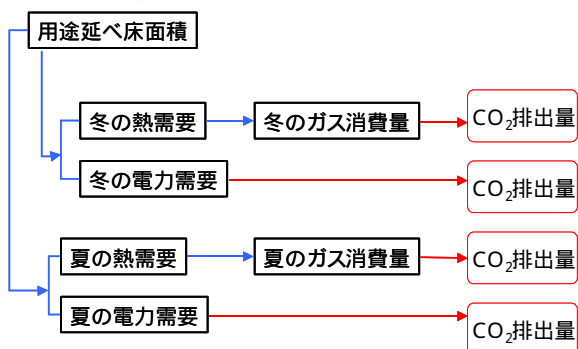


図 - 1 現状のシステムにおける計算フロー

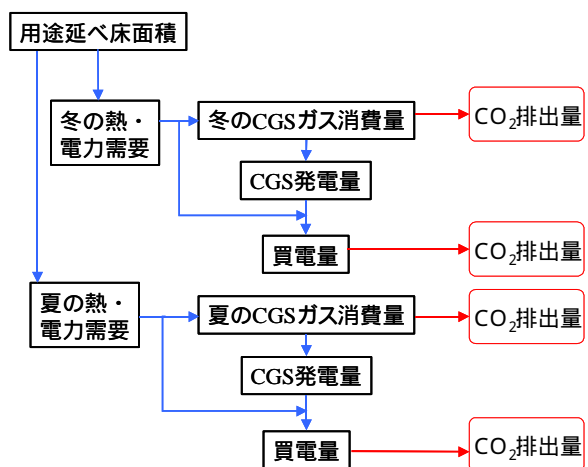


図 - 2 CGSにおける計算フロー

転方法である。

集合住宅、ブロック、地区ごとにCGSを導入する可能性が存在するが、建築物個別にCGSを導入し、建築物間の熱パイプ輸送は想定せず電力は余剰、不足をそれぞれ補い合うとした。

## 2 - 4 . CO<sub>2</sub>排出係数

電力の使用によるCO<sub>2</sub>排出量の計算に用いる係数にはマージナル電源原単位と全電源平均原単位の2通りの考え方があるため、それぞれについて計算した。しかし後の考察ではマージナル電源を使用する。

### マージナル電源原単位

電力需要変動には出力調整の容易な火力発電で対応している事から、コージェネレーションによって減少する電力は火力発電による部分のCO<sub>2</sub>排出量とする考え方。変動に対応している火力発電所がマージナル電源である。値は0.689kg-CO<sub>2</sub>/kWhである。

### 全電源平均原単位

新規に運転を開始するシステムによって生じる電力需要の増減は、電源の発電構成率に応じていると考え、発電量で重み付け平均した値を用いる考え方。値は0.357kg-CO<sub>2</sub>/kWhである。

## 3 . CO<sub>2</sub>排出量の推定

### 3 - 1 . 熱電比の分布

熱電比つまり熱需要の電力需要に対する割合を計算した。これによって長岡市の熱需要と電力需要の傾向がわかる。熱電比と町丁目数をグラフにしたものが図 - 3である。

これより、冬期は熱電比が小さいものから大きいものまでだいたい平均的に分布しているが、熱電比の大きい町丁目が若干多い。夏期は冷房による電力消費が増加した為、比較的熱電比が小さい町丁目が多い。

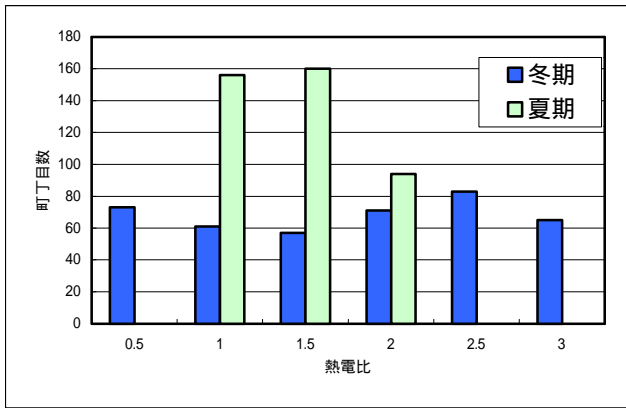


図 - 3 熱電比

### 3-2. エネルギー使用量の比較

使用したエネルギー量をGcalに換算して現状のシステムとCGSとで比較してみる。ガスエンジン導入時は図 - 4、表 - 2、燃料電池導入時は図 - 5、表 - 3である。冬期の現状のシステムにおけるガス消費量は約38万Gcal、電力需要は約33万Gcalである。そこにCGSを導入した場合、ガス消費量は約60万Gcal、発電できたのは約14万Gcal、不足して購入した分は約19万Gcalであった。CGSでは現状に比べてガス消費量は多くなるが、電力購入量は大幅に減らす事ができる。

夏期の現状のシステムにおけるガス消費量は約20万Gcalで電力需要は約40万Gcalであった。冬期に比べるとガス消費量は少なく電力需要は増えている。冬期のガスによる暖房に代わって冷房による電力需要が増加したためと考えられる。CGSによるガス消費量は約65万Gcal、電力需要は約40万Gcalであった。うち15万GcalはCGSの発電によって賄う事ができた。

図 - 5より燃料電池CGSを導入すると、ガス消費量は冬期で約77万Gcal、夏期で約83万Gcalであった。ガスエンジンに比べれば熱回収効率が高くないのでガス消費は増加したと考えられる。電力需要は冬期において約33万Gcalでそのうち約27万Gcalを発電で賄う事ができたことがわかる。残り6万Gcalが不足分で電力会社から購入する。夏期においても電力需要約40万Gcalの

うち約30万GcalをCGSの発電によって賄っている。これは燃料電池CGSはガスエンジンCGSに比べて発電効率が良いからで、買電が少なくなり結果的に削減率も大きくアップした。

買電量を町丁目ごとに見ると、燃料電池CGSはガスエンジンCGS導入時に比べて、電力の不足する町丁目が減り電力の余る町丁目が増えた。表 - 2、3より、ガスエンジン導入時において純買電量（最終的に購入する量）は217,113MWhであった。一方、燃料電池CGS導入時での純買電量は66,779MWhで買電量が大幅に減少することが分った。

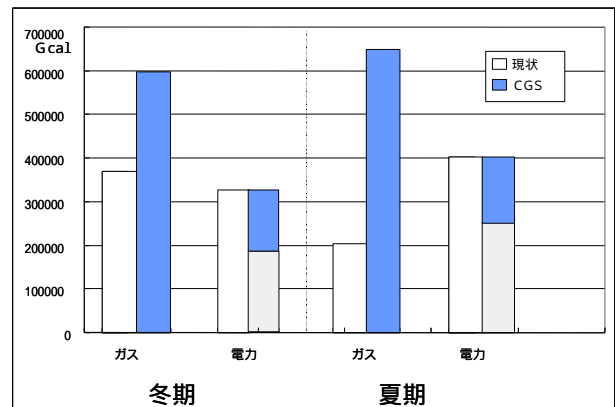


図 - 4 エネルギー使用量 (ガスエンジン)

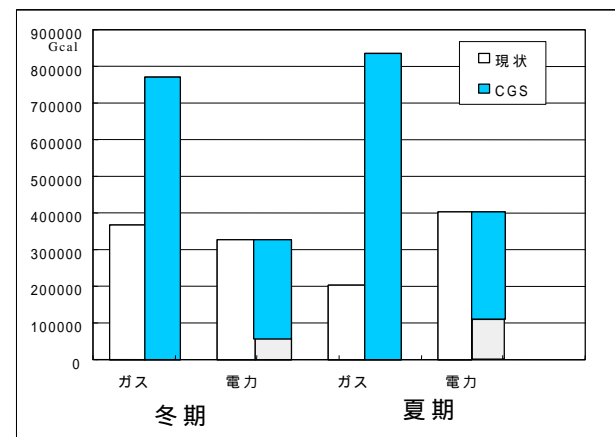


図 - 5 エネルギー使用量 (燃料電池CGS)

表 - 2 電力の不足分・余剰分 (ガスエンジン)

	冬期	夏期
不足分 (MWh)	219,591	289,719
余剰分 (MWh)	2,478	0
純買電量 (MWh)	217,113	289,719

表 - 3 電力の不足分・余剰分（燃料電池）

	冬期	夏期
不足分 (MWh)	141,503	146,717
余剰分 (MWh)	74,724	20,112
純買電量 (MWh)	66,779	126,605

### 有用エネルギー効率

現状のシステムとCGSとで有用エネルギー効率を比較する。それを表 - 4、表 - 5に示した。現状におけるガス暖房給湯器の効率は94%、電力の発電効率は送電ロスを含めて34%とする。ガスエンジンCGSの総合効率は81.5%、燃料電池CGSは80%、電力の発電効率は（買電力量）同じく34%である。すると有用エネルギー効率は冬期において65.8%から70.2%へ、夏期において54.2%から68.3%へアップした。また燃料電池CGSでは65.8%から76.8%、54.2%から74.7%へアップし、CGS導入によってエネルギーを有効に利用できたことがわかる。

	現状	コージェネレーション
冬期	65.8%	70.2%
夏期	54.2%	68.3%

表 - 4 有用エネルギー効率（ガスエンジン）

表 - 5 有用エネルギー効率（燃料電池）

### 3 - 3 . CO<sub>2</sub>排出量と削減率

長岡市全体で見たCO<sub>2</sub>排出量と削減率の推

	現状	コージェネレーション
冬期	65.8%	76.8%
夏期	54.2%	74.7%

定結果を示す。まず、ガスエンジンCGSを導入した場合（図 - 6）冬期においてマージナル電源で17.4%、全電源平均で2.5%の削減となった。夏期においてはマージナル電源で6.1%の削減となったが、全電源平均では17.4%増加となった。CO<sub>2</sub>排出係数によって推定の結果に大きく差が出るのがわかる。

次は燃料電池CGSを導入した場合についてである。（図 - 7）結果、燃料電池CGSの場合削減率はガスエンジンに比べてアップした。冬期においてマージナル電源で36.6%、全電源平均で9.6%の削減である。夏期はマージナル電源で25.5%の削減であったが、全電源平均では9.4%の増加となった。マージナル電源ではかなりの削減ができるという結果を得た。

燃料電池CGSはガスエンジンに比べ熱効率が低いので、ガス消費量はかなり多くなりガス消費によるCO<sub>2</sub>は多い。しかしガスエンジンに比べると発電効率は大きく、またガス消費量も多くなっているため、発電量が増加し結果電力購入量が低減して、電力使用によるCO<sub>2</sub>は減少した。これらの経緯でガスエンジンに比べて燃料電池ではCO<sub>2</sub>排出量が大幅に削減できたものと考えられる。

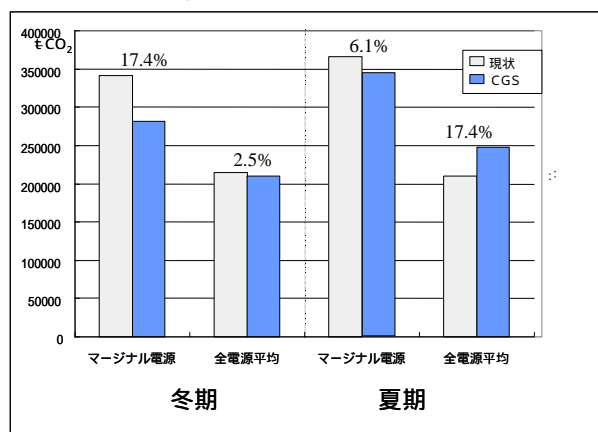


図 - 6 CO<sub>2</sub>排出量の比較（ガスエンジン）

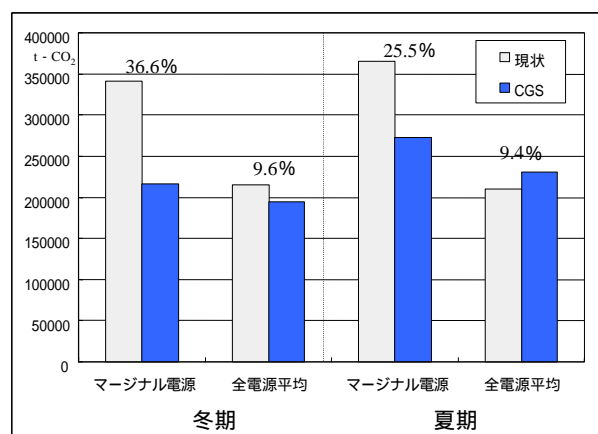


図 - 7 CO<sub>2</sub>排出量の比較（燃料電池）

## 4. 町丁目別に見る削減率と地区特性

### 4-1. 町丁目別削減率

削減率を町丁目ごとに見ていくと大きさに差があるため、削減率の大きさに長岡市を大きく4地区に分けた。削減率が5%~10%の町丁目をA地区、10%~20%の町丁目をB地区、20%~30%の町丁目をC地区、30%以上の町丁目をD地区とする。地区ごとに色分けして表したのが図-8である。地区毎の特性は次のようである。

#### (1)A地区

A地区は、店舗事務所が約50%以上占める地区である。削減率が5.5%と最も低い町丁目は店舗事務所の構成率が100%や99%と、店舗事務所しかないか、ほとんどが店舗事務所の町丁目であることがわかる。このような町丁目は、新産や鉄工町、また大手通・城内町などの駅前周辺である。これは地区に店舗事務所が沢山あり、店舗事務所は熱の需要が少ないのでCGSの効果を十分に発揮できなかったためである。

#### (2)B地区

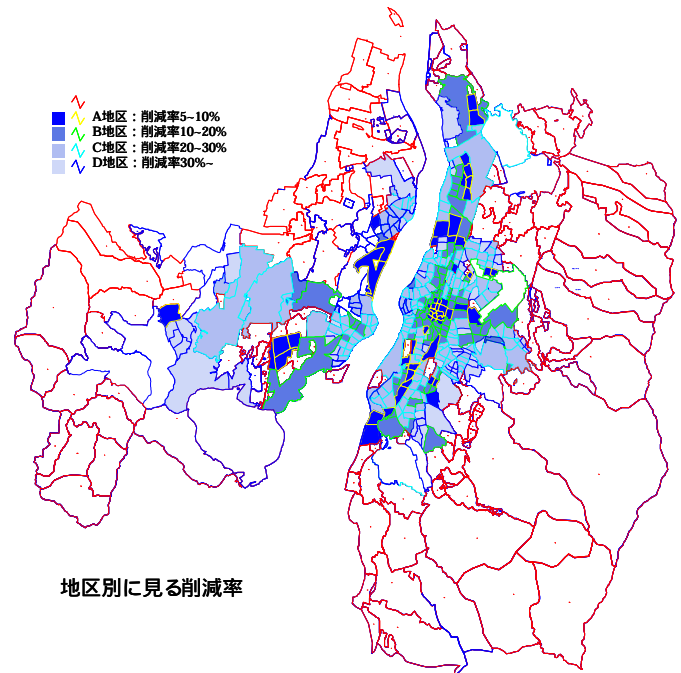
B地区は店舗事務所の構成率が46%から15%の間で減少していき、住宅の構成率が増えてきていた。どのような町丁目かということと表町、神田町や本町などで、A地区を囲むように位置していた。

#### (3)C地区

C地区は削減率が20%~30%の地区で、4地区の中で町丁目数が最も多い166町丁目となった。用途の構成率を見てみると、住宅の構成率最低が60%でほとんどが80%となり、地区のほとんどが住宅で占められている。店舗事務所の構成率は15%~2%へと減少し、店舗事務所はかなり少ない。どのようなところかということ、寿、中島、山田、信濃、今井等の東側の川沿い、また、江陽、藤沢、宮関、大島、北山、下山、大山などの西側の川沿いにある。川崎や宮内の周辺もC地区であった。

#### (4)D地区

D地区は削減率が最も高く、30%以上の地区で町丁目数は89であった。D地区はA地区とは対照的に住宅が約90%以上を占めるようになり、店舗事務所は数%のみである。どのようなところかということ、豊詰町、曲新町、上条町、鉢伏町など駅前中心から離れているところ、土合や花園東、末広、希望が丘南、といった住宅地であった。



地区別に見る削減率

図-8 地区別に見る削減率（ガスエンジン）

表-8 削減率と主な町丁目

	町丁目
A地区 (5~10%)	新産、鉄工町、大手町、城内町などの駅前周辺など
B地区 (10~20%)	表町、神田町、本町、古正寺、蓮湯など
C地区 (20~30%)	寿、信濃、山田、今井、藤沢、宮関、北山、下山など
D地区 (30%~)	豊詰、曲新、上条、鉢伏、土合、花園東など

A地区のような専用店舗事務所の多い地区で削減率が低くなっているのは、店舗事務所では熱需要が少なかったためである。また、CGSは削減率の大きい方から、D地区 C地区 B地区の順で導入していけば効果があげられる事がわかった。

#### 4-2. 削減率と事務所構成率

CO<sub>2</sub>削減率と店舗事務所の構成率を全町丁目についてプロットした。(図-9)

これをみると店舗事務所が多くなるにつれ、削減率が減少していく事がわかる。これは熱需要の少ない事務所などではCGSによる発電量が少なく、買電量が増え、CGSの熱と電力を両方生み出すという効果が十分に発揮できなかったためである。CGSは熱需要の少ない事務所のような用途ではなく、もっと熱需要が多い所で導入すれば、より効率的なCGSによるエネルギーの有効利用ができるものと考えられる。

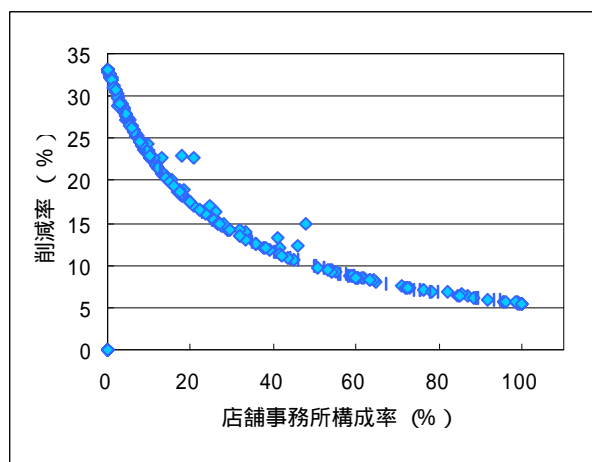


図-9 店舗事務所構成率と削減率  
(ガスエンジン)

#### 5. まとめ

本研究のまとめとして次のような事が言える。

長岡市にコージェネレーションを導入すると、冬期で17.4%、夏期で2.5%削減する事ができる。

燃料電池コージェネレーションにすると発電効率が上がるため、削減率は高くなり冬期で36.6%、夏期で25.5%のCO<sub>2</sub>削減をすることができる。

コージェネレーション導入によって有用エネルギー効率のアップが図れた。

地区別に見ると、店舗事務所構成率が低くなるにつれてCO<sub>2</sub>排出削減率は増加する。そこで構成率の低い地区(住宅地)からコージェネレーションを導入するのが効果的である。

#### 参考文献

- (1) 荒巻俊也、飯濱美夏、花木啓祐：東京都区部における民生用エネルギー供給由来のCO<sub>2</sub>排出削減可能性の検討～コージェネレーションシステムと清掃工場排熱利用の地域冷暖房システムの導入による～，環境システム研究論文集，Vol.28，pp85-93，2000
- (2) 大島敦仁、大西隆、城所哲夫、瀬田史彦、中野康子：市街地におけるコージェネレーションシステムの導入可能性についての検討，日本都市計画学会学術研究論文集，第34回，pp103-108，1999
- (3) (社)日本エネルギー学会編、監修、柏木孝夫(東京農工大学)：天然ガスコージェネレーション計画・設計マニュアル2000，pp12-21.41，日本工業出版，2000
- (4) (社)空気調和・衛生工学会：都市ガスによるコージェネレーション評価プログラム-CASCADE-，pp16.17，1998
- (5) 気候ネットワーク編、荘村多加志：よくわかる地球温暖化問題，p86，中央法規出版，2000