

海外及び日本における都市の熱供給システムの位置付けに関する研究  
その1 エネルギー消費実態からの考察

熱効率 エネルギー 熱供給システム

- 正会員 李 海峰<sup>(1)</sup>
- 正会員 章 新東<sup>(2)</sup>
- 正会員 尹 軍<sup>(3)</sup>
- 正会員 高 偉俊<sup>(4)</sup>
- 正会員 高橋信之<sup>(5)</sup>
- 正会員 尾島俊雄<sup>(6)</sup>

1. 研究目的

近年の急速な経済成長に伴って、中国は石炭をはじめとするエネルギー需要が急増している。しかも石炭に含まれる硫黄分や灰分がかなり高いため、その燃焼に伴って大量の煤塵やSO<sub>2</sub>を大気中に放出するが、中国では集塵施設や脱硫施設の設置が不十分なために大気汚染は年々深刻の度を増しており、その抑制の必要性は中国の国内問題に留まらず、世界的な課題として取り上げられている。1996年の中国国家環境保護局の公報によれば、全国の都市の殆どでTSPが国家の基準を超えている。全国で84都市の年平均値は0.079~0.618mg/m<sup>3</sup>で、全国平均値は0.309mg/m<sup>3</sup>、北方都市の平均は0.387mg/m<sup>3</sup>、南方都市の平均は0.230mg/m<sup>3</sup>であった。SO<sub>2</sub>については全国平均値が0.079mg/m<sup>3</sup>、北方都市の平均が0.083mg/m<sup>3</sup>、南方都市の平均が0.076mg/m<sup>3</sup>であった。TSP、SO<sub>2</sub>のいずれについても、環境基準(3級都市の日平均)と比較してTSPは10倍、SO<sub>2</sub>は3倍以上になっており、特に中国東北地区都市としてその深刻さが判ろう。したがって、中国の環境現状により、今後の環境保全における熱効率向上に寄与するエネルギー供給システムに関する開発の位置づけ及び問題点を解明するため、中国におけるエネルギー・環境・大気汚染の実態を解明する必要がある。また、経済成長と環境保全の両立を図り、地域熱供給事業については提案された従来の枠にとらわれない新しいエネルギー供給システムを導入するため、その政策面の対策も必要であると考えられる。本論では日中米間のエネルギー消費実態から中国における熱効率向上に寄与するエネルギー供給システムに関する開発と分析を目的とする。

2. 日中米間のエネルギー消費現状の対比予測

20世紀に入って世界のエネルギー消費量は爆発的に増加した。その主な原因は急激な世界の人口増加と経済の発展(生活水準の向上、科学技術の発展など)が考えられている。しかし、人口増加、経済発展の形は各国でまちまちであり、それらがエネルギー消費量の増加に与える影響もまた、各国ごとに大きく異なっている。

2.1 エネルギー消費量を決定する要素

エネルギー消費量を増加させる理由として種々のものが上げられるが①人口の増加、②生活水準の向上、③科学技術の発展、④各国ごとの特殊事情、の4つが主なものである。これら4つの要素は互いに複雑に絡まって作用している。

便宜的に、②の生活水準はおおよそ1人当たり国内総生

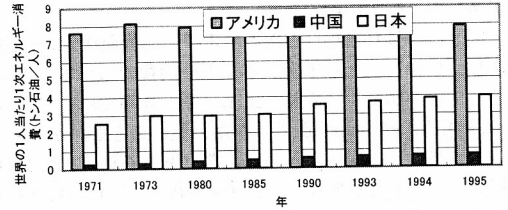


図1 1人当たりエネルギー消費量

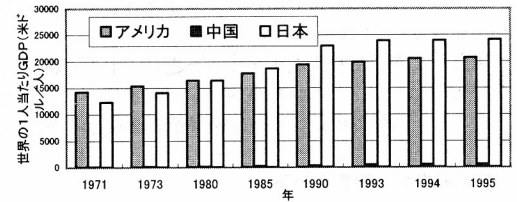


図2 1人当たりGDP

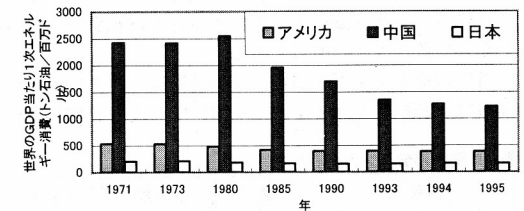


図3 GDP当たり1次エネルギー消費

産(GDP)で表される。これに対し、エネルギー消費量/GDPは、一定の負荷価値を生産するのにどれだけエネルギーを消費したかを示すものであるから、マクロ的な多量エネルギー消費技術の発展及び省エネルギー効果、更には産業構造と言った国ごとのエネルギー消費事情をも反映し、③の科学技術の発展及び④の国ごとの特殊事情を表す指標となる。

ここで、エネルギー消費量を次式のように捉える。  
 エネルギー消費量 = エネルギー消費量 / 人口 × 人口  
 = エネルギー消費量 / GDP × GDP / 人口 × 人口  
 …… (1)

したがって、先にあげた指標からなる(1)式の3つの項目(エネルギー消費量/GDP; GDP/人口; 人口)が明らかになれば、エネルギー消費量が導き出せる。

図1では1人当たりエネルギー消費量を示している。図1から見れば、1人当たりエネルギー消費量(生活水準)ではアメリカ、日本、中国の順であることがわかった。また、85年から、3国の1人当たりエネルギー消費量(生活水準)では上げつづけてきたこともわかった。

1人当たりGDPを図2に示しており、85年から、3国の1人当たりGDPでは上げつづけてきたが、順番では日本、アメリカ、中国の順である。

図3はGDP当たり1次エネルギー消費現状である。図3より、GDP当たり1次エネルギー消費では日本、アメリカ、中国の順で、つまり、エネルギー効率では、日本は高く、中国は85年から改善したが、低いことがわかる。

1人当たり1次エネルギー消費(トン石油/人)を目的指標とし、1人当たりGDP(米ドル/人)(x1)、GDP当たり1次エネルギー消費(トン石油/百万ドル)(x2)を説明指標とし、重回帰分析しており、結果を表1に示した。表1から見れば、1人当たり1次エネルギー消費が1人当たりGDP、GDP当たり1次エネルギー消費との重相関係数は0.94強い。

また、1人当たり1次エネルギー消費(トン石油/人)を目的指標とし、1人当たりGDP(米ドル/人)を説明指標とし、回帰分析しており、結果を表2に示した。

## 2.2 エネルギー需要量の予測

次に、各国のエネルギー消費の変動を、人口増減による影響と考えられる部分とエネルギー消費レベルの上昇による影響と考える部分とに区別して表す。すなわち、エネルギー消費レベルが高い先進国とエネルギー消費レベルは低い人口数が大きい中国である。

各国の総エネルギー消費量推測値は国連の人口推計値とGDP成長率(85~93年)に基づいて、表2の回帰関係式

表1 重回帰分析

国別	中国	アメリカ	日本
x1 偏回帰係数	0.0009	0.0004	0.0002
x2 偏回帰係数	8.56E-06	0.0139	0.0144
定数項	0.2087	-4.7734	-2.3715
重相関係数	0.9691	0.9458	0.9953

より計算できる。計算された結果を表3に示した。総エネルギー消費量の推移を見ると、まず中国の動きが顕著で、1990年のエネルギー消費量(501百万toe)に比べ、2010年で4.5倍(2262百万toe)、2020年で10.0倍(5013百万toe)に急激に増加し上げられている。一方、増加率が最も少ないのはアメリカで、2010年、2020年のエネルギー消費量は1990年に比べ、0.9倍、1.1倍である。

## 2.3 エネルギー消費量の構造と推移

図4はエネルギー種類別の推移である。エネルギー種類別でみると、中国のエネルギーに消費は石炭に大きく依存しているのが特徴である。すなわち、アメリカ、日本のエネルギー消費では1970年代の初めごろ、石炭の消費はエネルギーの消費量の約20%を占めて、石油は40%~50%程度となっている。また、天然ガス、原子力など環境型エネルギーは増加し続けてきた。それに対し、中国では、石炭が75%、石油が19%となっており、石炭への依存度が大きい。また、原子力など環境型エネルギーは殆どゼロである。

図5にはエネルギー用途別の推移を示しており、90年代から、アメリカでは交通、民生・農業、産業、電力の順、中国と日本ではおよそ産業、民生・農業、交通、電力の順であることがわかった。また、電力需給では高い伸びを示している。これは電力供給が技術発達、安全確保、国民信頼などの特徴を持つ。従って、熱効率向上に寄与する熱供給システムを導入すれば、排熱利用が可能となり、民生用エネルギーを下げる事が出来、総エネルギー消費が節約できる。また、発電所の廃熱を利用するためには、発電所を熱の需用地に近いところ立地させなければならない。原子力や水力、地熱、石炭火力などの発電所を都市の中に立地させるわけにはいかないが、石油、

表2 回帰分析

	関係式	相関係数
中国	$y=0.0009x+0.2326$	0.9691
日本	$y=-2.07E-06x+7.8211$	0.0234
アメリカ	$y=0.0001x+1.3540$	0.9578

表3 エネルギー需要量の予測

	人口(100万人)				実質経済成長率(%)			
	1990年	2000年	2010年	2020年	70~75	75~80	80~85	85~93
中国	1153.5	1309.7	1409.9	1504		7.7	10.1	9.2
日本	123.5	128.1	130.6	128.7	4.4	4.6	3.8	3.6
アメリカ	250	275.3	296.1	314.5	2.3	3.2	2.5	2.3
	エネルギー消費量(百万トン石油)				1990年エネルギーを占める割合			
	1990年	2000年	2010年	2020年	1990年	2000年	2010年	2020年
中国	501	1107	2262	5013	1	2.2	4.5	10.0
日本	311	993	1009	989	1	3.2	3.2	3.2
アメリカ	1346	1066	1271	1518	1	0.8	0.9	1.1

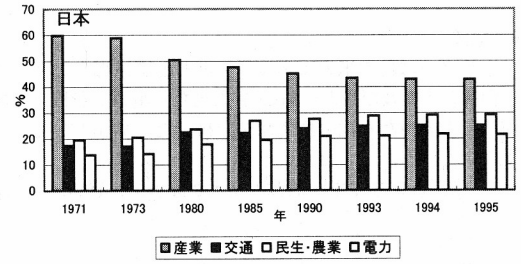
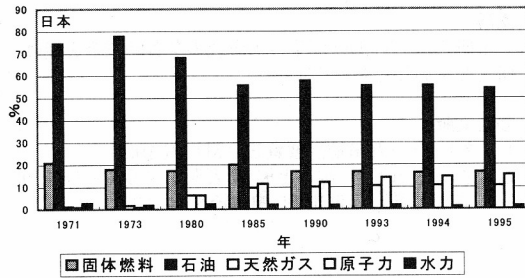
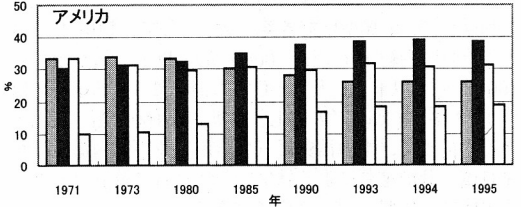
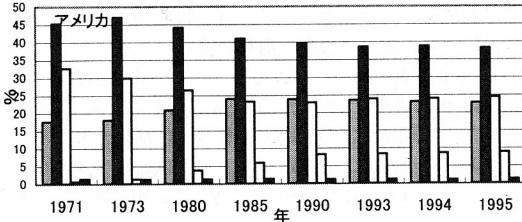
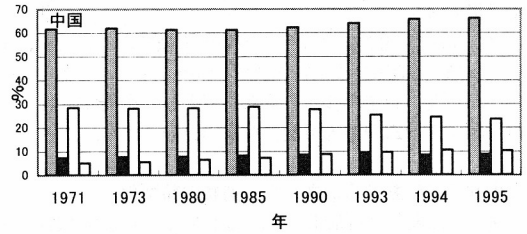
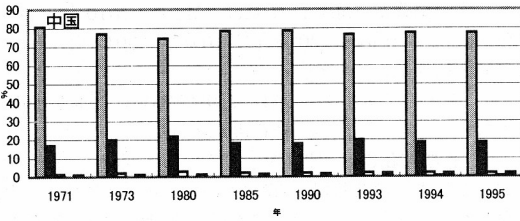


図4 エネルギー種類別の経年推移

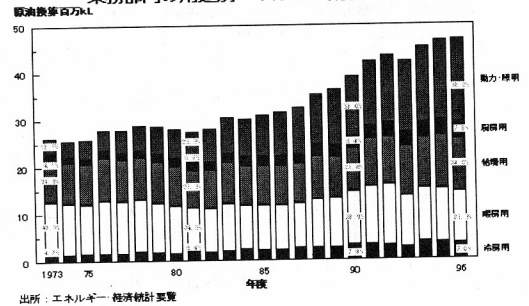
図5 エネルギー用途別の経年推移

LNG 火力などは小型にして都市の内部に分散配置すべきである。分散電源による熱供給システムネットワークに関する研究が必要になる。

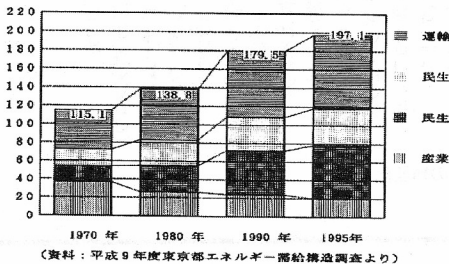
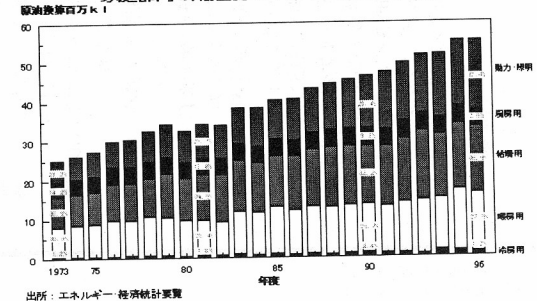
### 3. 東京都のエネルギー消費の分析

図6は東京都のエネルギー消費量の部門別推移を示しており、95年では民生用エネルギー消費量は総エネルギー消費量の50%強を占めている。図5と比べて、民生用エネルギー消費量では、都市は全国平均より2倍弱であることがわかった。従って、都市における熱効率向上に寄与する熱供給システムを導入すれば、総エネルギー消費節約効

業務部門の用途別エネルギー消費の実績



家庭部門の用途別エネルギー消費の実績



(資料：平成9年度東京都エネルギー需給構造調査より)  
東京都のエネルギー消費量は、バブル経済崩壊後も年々増えつづけています。特に、民生部門(家庭・業務)や運輸部門の消費量が伸びています。

図6 東京都におけるエネルギーの消費量の部門別推移

図7 民生用のエネルギー消費の実績

果は最も著しい。

図7は民生用のエネルギー消費の実績である。これによって、熱（冷暖房、給湯）電比は1.6~1.8ほどであることがわかった。省エネルギー面から見れば、分散電源による熱供給システムの導入可能性が高いといえよう。

#### 4. 東北三省におけるエネルギー消費の類型化

図8では東北三省都市における1人当たり電力消費量(生活用)、1人当たり国内総生産に基づいて、クラスター分析を利用して、3類型化できる。結果として、類型1では1人当たり国内総生産では10000元/人以上、類型2、3は10000元/人以下、1人当たり電力消費量(生活用)では類型1、2は100kwh/人以上、類型3は100kwh/人以下である。従って、電力消費量(生活用)及び国内総生産から見れば、分散電源による熱供給システムネットワークの導入可能性は類型1、2、3の順である。

#### 5. 結論

本論文では日中米のエネルギー消費と東京都のエネルギー消費の実態及び東北三省の1人当たり電力消費量(生活用)と1人当たり国内総生産を分析した。結論として、以下にまとめる。

- 1) 中国のエネルギー消費の増大が顕著で、1990年のエ

ネルギー消費量(501百万toc)に比べ、2010年で4.5倍(2262百万toc)、2020年で10.0倍(5013百万toc)に急激に増加している。

2) 中国のエネルギーでは、石炭が75%、石油が19%となっており、石炭への依存度が大きい。

3) 電力需給は高い伸びを示していると同時に、民生用のエネルギー消費量は、都市は全国の平均より高いことがわかった。従って、都市における熱効率向上に寄与する熱電供給システムを導入すれば、民生用エネルギーは排熱により、総エネルギー消費が節約できる。

4) 東北三省の都市における1人当たり電力消費量(生活用)、1人当たり国内総生産に基づいて、クラスター分析して、3類型化する。電力消費量(生活用)及び国内総生産から見れば、分散電源による熱供給システムネットワークの導入可能性は類型1、2、3の順である。

#### 謝辞

本研究は、NEDO 産業技術研究事業費助成金を受けて研究を実施したものです。

#### 参考文献

1. エネルギー・経済統計要覧 EDMC 編 1998
2. エネルギー政策の歩みと展望・資源エネルギー庁 1993
3. 中国都市統計年鑑 1995 中国統計出版社

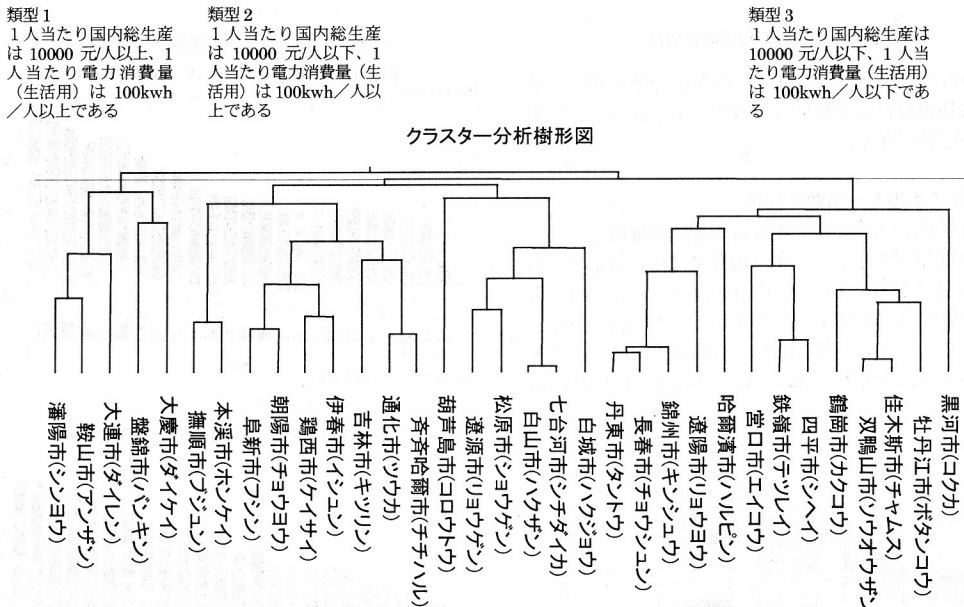


図8 東北三省の都市の類型化

\*1 早稲田大学大学院博士課程  
 \*2 早稲田大学大学院博士課程  
 \*3 早稲田大学理工学総合研究センター客員研究員・博士  
 \*4 早稲田大学理工学総合研究センター講師・博士  
 \*5 早稲田大学理工学総合研究センター助教・博士  
 \*6 早稲田大学教授・博士

Graduate School, WASEDA Univ.,  
 Graduate School, WASEDA Univ.  
 Advanced Research Center for Science and Engineering, WASEDA Univ. Dr.  
 Advanced Research Center for Science and Engineering, WASEDA Univ. Dr.  
 Prof. Advanced Research Center for Science and Engineering, WASEDA Univ. Dr.  
 Prof. WASEDA Univ. Dr.