

# 東京都心地区再生プランに基づく大深度地下利用 による熱供給網整備に関する研究

未利用排熱、大深度地下、コージェネレーション、ごみ搬送

準会員 ○ 榎本 大樹\*1 正会員 柳沢 聡子\*3  
 正会員 佐々木 隆太\*2 同 中島 裕輔\*3  
 同 山本 博之\*2 同 高橋 信之\*4  
 同 茂手木 直也\*2 同 尾島 俊雄\*5

## 1. はじめに

現在、東京都心地区においては膨大なエネルギー需要があり、今後都心地区再生プランによって、さらなるエネルギー需要の増加が予想される。その際には増加後の需要量を既存の熱源では供給しきれず、新たな熱源が必要となる。しかし、都心地区に熱源を設けることにはプラント用地不足などのため、困難であると考えられる。また、災害時を考慮すると都心地区では現状の脆弱なインフラシステムの変革が必要である。そこで本研究では、湾岸部に熱源を設け、大深度地下を利用して都心地区にエネルギーを供給するシステムを提案する。

さらに大深度地下は他のインフラにも利用可能であることから、大深度地下を利用したごみ搬送システム、清掃工場のごみ排熱利用を併せて提案、検討する。

## 2. 東京都心地区再生プランに基づく

### 各熱電需要量・ごみ排出量の算定

#### 2-1. 増加後の床面積の設定

現在、都区部で具体的に都心地区再生プランとして容積率の緩和等が計画されている。そこでまず、都心地区再生プランによる床面積増加割合に基づいて増加後の床面積を設定した。本研究でケーススタディーを行う地区は、銀座地区(銀座)、東京駅前地区(日本橋・八重洲・京橋)、大丸有地区(大手町・丸の内・有楽町)とする。各地区毎の用途別床面積割合を図1に示す。現状の都心地区では、オフィス・商業が中心であるが、将来的には都心居住が求められているため、現状より住宅の割合が増加する床面積割合となっている。

#### 2-2. 増加後の需要量の算定

設定した床面積から電力・熱需要量の算定を行った。その結果を表1に示す。またピーク電力・熱需要量と既存熱源の容量(地区内のDHC)との比較を図2に示す。これより、既存の熱源の5倍近い熱需要が見込まれることがわかる。次にごみ排出量を図3に示す。ごみ排出量は晴海・有明清掃工場の処理能力の9割程度が見込まれる。

## 3. 大深度地下を利用したインフラシステムの提案

算定結果から既存の能力では増加後の熱需要をまかなうことが出来ず、別の場所に新たな熱源を設けなくてはならないことがわかる。本研究ではその熱源を湾岸部に設け、大深度地下を利用した熱供給を提案する。併せて大深度地下を利用したごみ搬送システムを提案する。

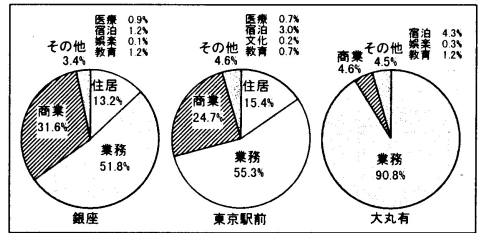


図1 増加後の用途別床面積割合

表1 年間エネルギー需要量

	銀座	東京駅前	大丸有	3地区合計
冷房(TJ/年)	1,021	1,067	2,788	4,877
暖房(TJ/年)	611	699	1,993	3,303
温熱(TJ/年)	477	540	1,030	2,047
電力(GWh/年)	688	678	1,615	2,961

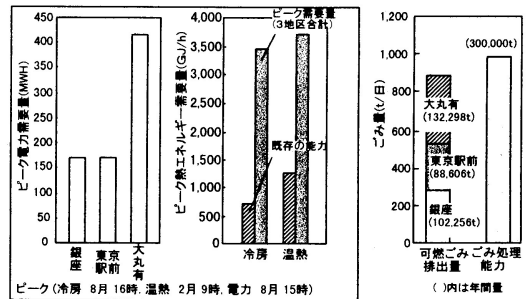


図2 ピークエネルギー需要量と既存熱源能力

図3 ごみ排出量と既存ごみ処理能力

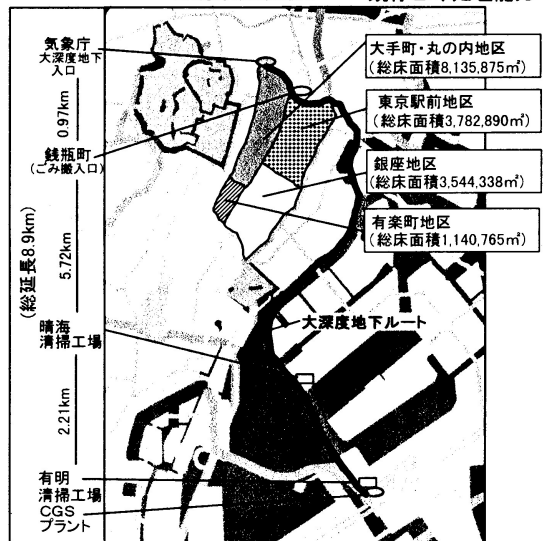


図4 大深度地下ルートと距離

### 3-1. 大深度地下ルートの設定

本研究でケーススタディーを行う大深度地下ルートと距離を図4に示す。まず、熱源の位置は有明清掃工場下とし、都心地区の大深度地下入口は気象庁、銭瓶町の2ヶ所とする。ルートの設定は、現状では法規制等で私有地の地下にトンネルを掘ることは困難であり、大深度地下は河川・公道の下が有効であるために海・河川の下を通るルートとした。また、清掃工場の排熱利用、都心地区からのごみ搬送を行うため、建設中の晴海清掃工場を経由して有明清掃工場に至るルートとしている。

### 3-2. 大深度地下を利用したエネルギー供給

#### システム・ごみ搬送システムの提案

大深度地下を利用したエネルギー供給、ごみ搬送システムのコンセプトを図5に示す。

#### ① エネルギー供給システム

現状では電力は系統電力を利用し、熱は一部の限られた地区ではDHCによる供給が行われているが、多くの地区については建物毎に熱源を持つか、あるいは系統電力を利用して熱を確保している。しかし、今後都心地区の地震等の災害時のエネルギー供給を考慮すると、災害時でも電力・熱を安定供給出来る大深度地下利用が有効であると考えられる。そこで本研究では、電力・熱を供給出来るCGS(コージェネレーションシステム)を湾岸部に設置することを提案する。さらに既存のDHCプラントと清掃工場からの排熱の利用を検討する。ここで晴海・有明清掃工場のごみ排熱利用可能量を図6に示す。これより、清掃工場排熱が有効なエネルギー源であることがわかる。

#### ② ごみ搬送システム

現状のごみ搬送は、ごみ収集車で清掃工場まで搬送している。しかし都心の道路網を使った現状の搬送方法は交通渋滞や環境汚染に深刻な影響を与えている。ここでは、新しいごみ搬送システムとして大深度地下を電気自動車で搬送することを計画する。ごみの搬送場所については表2に示す。

表2 ケーススタディーにおけるごみ搬送場所

地区	搬送場所		
	可燃ごみ	不燃ごみ	リサイクルごみ
銀座 京橋	有明清掃工場	中央防波堤	リサイクル工場
大手町 丸の内 有楽町 日本橋 八重洲	晴海清掃工場		

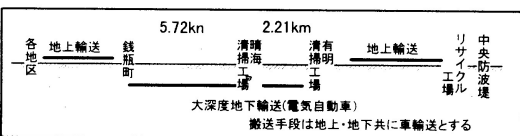


図7 ごみ搬送方法の提案

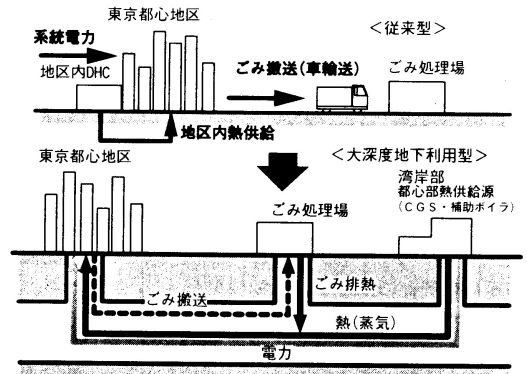


図5 エネルギー供給・ごみ搬送システムの提案

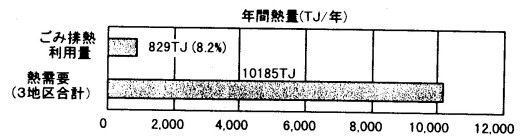


図6 ごみ排熱利用可能量の算定

ただし、本研究では各地区から大深度地下入口までは従来どおり自動車による収集で考える。また不燃ごみやリサイクルごみ等は、有明清掃工場から清掃車で各処理施設へ搬送するものとする。

### 3-3. CGSの計画

この地区に必要な電力・熱供給量を算定し、熱源の規模を設定するフローを図8に示す。湾岸部から供給するため、大深度地下の配管における熱損失や凝縮水の搬送動力を考慮した。また、ここではごみ搬送時に必要な電力も加え、逆に熱量からはごみ排熱として利用できる量を引いて、最終的に必要な熱供給量としている。ただし、配管熱損失・凝縮水搬送動力は大深度地下部分のみで考え、地区内での熱損失・搬送動力は考慮していない。

次に電力・熱供給の方法を設定した。CGSの運転方法とCGS・ボイラの規模によって4タイプの供給方法を設定したものを表3に示す。まず、設定Aは全地区に熱はDHCによって供給し、電力は系統電力を利用する。

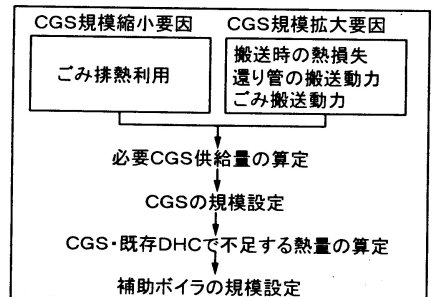


図8 熱源規模設定フロー

また不足する熱源は地区内に新設すると考える。設定BはCGSを利用したもので、B-1は不足熱・電力が出ないように電力・熱需要の大きい方にCGSの運転を合わせている。B-2は電力・熱需要の大きい方に合わせて運転するが、B-1に比べて余剰電力を減らすためにCGSの規模を電力ピークに制限している。B-2'はB-2と運転方法は同じだが、B-1・B-2がごみ排熱を利用しているのに対し、ごみ排熱を利用していない。設定B-2・B-2'で不足した熱は既存のDHC又は補助ボイラを利用して供給する。各機器効率、各エネルギー算定値を表4、表5に示す。以上の設定で評価を行った。

#### 4. 評価

##### 4-1. エネルギー評価

エネルギー供給における各設定及びごみ搬送にかかる年間投入エネルギー量を図9に示す。まずエネルギー供給においてCGS利用した各運転と設定Aを比較すると、すべてのCGS利用の設定において投入エネルギーが削減され、最も削減率の大きいB-2で30.9%となった。これは系統電力と比べてCGSが排熱を有効利用できたことを示しており、中でもB-2は余剰熱・電力の最も少ない効率のよい運転であることがわかる。またごみ排熱を利用しないB-2'とB-2を比較すると1.6%の差があり、若干ながらごみ排熱が有効であることがわかる。

ごみ搬送については、従来のディーゼル車と比較して、大深度地下において電気自動車を利用することで、提案では39.2%の年間投入エネルギーを削減することができる。

##### 4-2. CO<sub>2</sub>・NO<sub>x</sub> 評価

エネルギー供給及びごみ搬送における年間CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排出量を図10、図11に示す。エネルギー供給では、最も投入エネルギーが削減されたB-2とAを比較するとCO<sub>2</sub>で44.9%、NO<sub>x</sub>で52.1%の削減となった。すなわちCGSを利用することで環境汚染物質排出量も削減できることがわかる。また、ごみ搬送では従来と比較してCO<sub>2</sub>で39.2%、NO<sub>x</sub>で59.9%削減された。削減の理由とし

表3 CGSの運転方法とCGS・ボイラ規模の設定

設定	CGS規模	ボイラ規模	条件
A	なし	3,713GJ/h	全地区で熱はDHC供給、電力は系統電力
B-1	1,020MW (熱ピーク)	なし	電力・熱需要の大きい方に合わせて運転 不足電力・不足熱なし
B-2	772MW (電力ピーク)	893GJ/h	電力・熱需要の大きい方に合わせて運転 (熱はCGSの供給できる範囲まで) 不足熱→補助ボイラ
B-2'	772MW (電力ピーク)	1,008GJ/h	B-2と同じ設定でごみ排熱利用なし

表4 各機器効率

機器	効率	
CGS	発電	0.39
	排熱	0.39
ボイラ	0.80	
発電所発電	0.33	
吸収式冷凍機	1.18	

表5 各エネルギーの算定

ごみ排熱利用可能量	115.5 (GJ/h)
配管熱損失係数	0.0114 (GJ/GJ)
ごみ搬送動力	0.314 (MWh/h)
凝縮水管搬送動力係数	0.6540 (kWh/GJ)

ては、軽油と比べて電力のCO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>排出量が少ないことが挙げられる。

##### 4-3. コスト評価

エネルギー供給及びごみ搬送におけるランニングコストを図12に示す。エネルギー供給では設定Aと比較するとB-2はランニングコストを大幅に削減することができる。

また、ごみ搬送のランニングコストにおいてもわずかではあるが削減される。これはごみ収集において人件費が大部分を占めているため、エネルギーコストの削減が全体の中では小さな割合になっているからである。

次にエネルギー供給システムのインシヤルコストについて図13に示す。Aと大深度地下溝建設費は含まないB-2のインシヤルコストを比較しても、B-2が大幅に多くなっている。これは系統電力にはインシヤルコストを算入していないのに対し、B-2はCGSのコスト及び湾岸部からの配管・配線費用が多くかかっているためである。

次に単純投資回収年数を表6に示す。エネルギー供給システムの単純投資回収年数は4年となった。また、大深度地下建設費を含めて考えると15年と算定される。

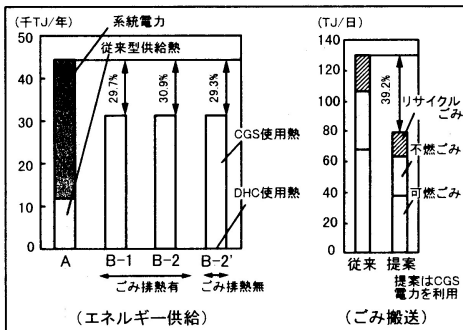


図9 年間投入エネルギー量の比較

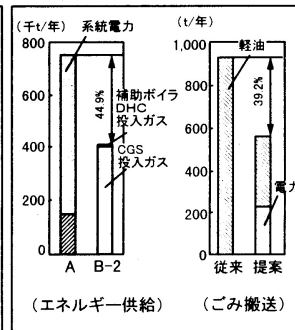


図10 CO<sub>2</sub>排出量の比較

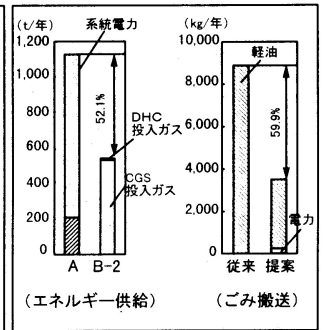


図11 NO<sub>x</sub>排出量の比較

ただし算定には土地代等を含んでおらず、その他にも様々なコストがかかると考えられ、実際にはさらに単純投資回収年数が伸びると予想される。

#### 4-4. 非常時の評価

大深度地下は地震等の災害時にも安定した供給が可能である。そこでCGSが正常に移働する場合の非常時供給可能割合を表7に示す。また用途別の非常時における対平常時電力需要割合を表8に示す。これより設定B-2で考えると、非常時には供給指定地区の非常時電力需要の210.1%を供給することが可能であり、供給指定地区以外の非常用電力としても利用することが出来る。

#### 5. まとめ

大深度地下を利用したCGSによるエネルギー供給システム、ごみ搬送システムは投入エネルギー、CO<sub>2</sub>・NO<sub>x</sub>排出量、ランニングコストの上で有効な手段であることがわかった。また非常時におけるエネルギー供給の面でも有効であることがわかった。また、ごみ搬送においても交通渋滞の緩和にもつながると考えられる。

大深度地下溝はその建設に莫大なコストがかかり、現状では法律上の問題もあるが、本研究で扱った電力・熱供給、ごみ搬送以外にも様々なインフラに利用されることが期待される。またそれにより回収年数の短縮も期待できる。したがって今後大深度地下利用を検討する場合、図14で示すように各インフラ毎に利用したときのエネルギー、コスト、環境負荷、安全性等の評価や大深度地下をネットワークした時の有効性や法的問題などを調査・検討し、総合的に大深度地下を評価することが大深度地下利用の推進につながると考えられる。

#### 謝辞

今回の研究にあたり、有明清掃工場、東京臨海熱供給㈱、関電工㈱、㈱IHIの方々に貴重な資料を頂いたことを厚く御礼申し上げます。

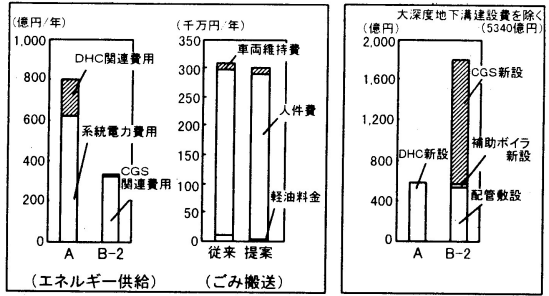


図12 ランニングコストの比較 図13 イニシャルコストの比較

表6 提案システムの単純投資回収年数

	イニシャルコスト (億円)	ランニングコスト削減額 (億円/年)	単純投資回収年数 (年)
ごみ (現状との差額)	23 (12)	0.6	40 (21)
電力・熱供給	1,796	463	4
総合 (大深度地下建設費込)	7,136	464	15

表7 非常時供給可能割合

電力需要 (MWH)				供給能力 (MWH)	供給可能割合
銀座	東京駅前	大丸有	合計		
85.9	86.7	194.9	367.5	772.1	210.1%

表8 非常時における対平常時電力需要割合

非常時電力需要割合 (%)							
住宅	医療	業務	商業	宿泊	娯楽	教育	文化
別掲	57.9	50.2	28.0	28.0	0	28.0	28.0

住宅は一戸あたり2.5kWh/日で計算 (住宅一戸は70㎡とする)

#### 参考文献

- 「建築の光熱水原単位」(東京版) 1995 尾島俊雄研究室 早稲田大学出版部
- 「都市ガスによるコージェネレーションシステム計画・設計と評価」 1994 社団法人空調調和・衛生工学会

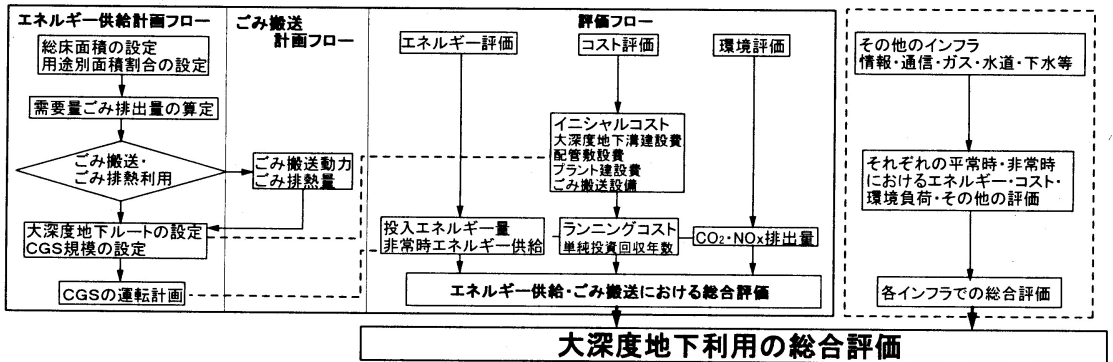


図14 大深度地下の評価フロー

\*1 早稲田大学  
\*2 早稲田大学大学院修士課程  
\*3 早稲田大学大学院博士課程・工修

\*4 早稲田大学理工学総合研究センター助教授・工博  
\*5 早稲田大学教授・工博