

大規模CGSを活用した大深度地下熱電供給システムに関する研究

環境工学—都市設備・環境管理

Key Word: 地域冷暖房 大規模CGS 大深度地下インフラ 熱源ネットワーク

準会員○杉浦 隆之*1 正会員 増田 幸宏*3
正会員 池田 直樹*2 同 高橋 信之*4
同 藤嶋 晋平*2 同 尾島 俊雄*5

1. 研究概要

1-1 研究目的

京都議定書の発効を控え、民生部門のCO2削減による温暖化対策を講じることが重要な課題になっている。一方、東京都心部においては「都市再生緊急整備地域」を中心に、オフィス・住宅からなる多くの都市再生プロジェクトの実施が見込まれている。以上のことから、都市再生プロジェクトのエネルギー需要の増加に対し低CO2排出型の「次世代型地域エネルギーシステム」を検討する必要がある。

そこで本論文では東京都心部(大手町・丸の内・有楽町・内幸町地区(以下大丸有地区と記述)築地地区)から臨海部に到る地域の再開発計画とそれに伴うエネルギー需要の高まりを調査し、豊洲地区のCGSを大深度地下インフラを活用することで都心部の既存の地域冷暖房と直結させるシステムを検討し、CGS排熱を活用する際のCO2削減効果を検証する。

1-2 研究背景

平成元年の通産省報告書¹⁾によると、地域熱供給の面から熱供給と電力供給を同時に行う熱電システムが有効であり、最大のエネルギー需要地である東京都心部の近接地にエネルギープラントを立地させる努力が必要であると報告され、候補地として豊洲に30万kWのCGSを設けることが提案されている。

また今後の豊洲地区、築地地区、大丸有地区における再開発計画による延床面積の増加は約650万㎡と推定され、さらに現在稼動している地域冷暖房(以下DHCと記述)においても加入努力義務のある未加入ビルが約190万㎡存在し、現在DHCから供給されている熱エネルギーと合わせるとこれらの総熱エネルギー需要量は約7,000TJとなる(図1)。

1-3 既存研究

早稲田大学尾島研究室では、従来から大深度地下インフラに関する研究が行われてきた(図2)²⁾³⁾。本研究の対象となる大丸有地区に大深度地下インフラとの結節点となる立坑を設け、CGSを設置する豊洲と大深度地下インフラでネットワーク化を計ることにより、電力・ガス・熱等のライフラインとして都心部の熱電エネルギー需要をより強固に支えることが出来る。現在提案されている大深度地下インフラのルートを図3に示す。このような広域インフラネットワークを整備することによって民生部門におけるCO2削減による、温暖化対策としての効果が期待されるとともに、広域災害時の供給信頼性の向上を計ることが可能となる。

2. 豊洲、築地地区の再開発計画と大丸有地区の現状

2-1 豊洲地区の再開発計画について

豊洲地区には臨海副都心と都心の中間という好立地を生かした再開発計画が計画されており、再開発のボリュームは表に示す通りである(表1)(延床面積は街区面積、容積率から決定した)。

この開発による熱エネルギー需要の増加は『建築の光熱水原単位』⁴⁾から参照した冷房、暖房、給湯の原単位を用いて算出した。その結果、温熱793TJ、冷熱1,144TJとなり、合計で1,937TJの熱エネルギー需要の増加が想定される。

2-2 築地地区の再開発計画について

築地地区では、築地市場が豊洲に移転した場合の跡地利用を対象として設定した(表2)(延床面積は街区面積、容積率から決定した)。この再開発による熱エネルギー需要の増加は、原単位から温熱634TJ、冷熱733TJとなり合計1,367TJと予想される。

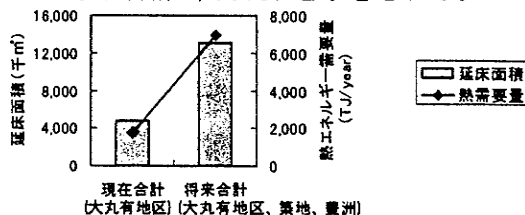


図1 延床面積と熱エネルギー需要の増加グラフ

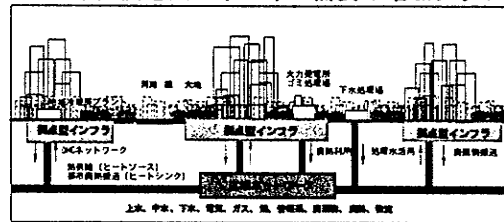


図2 大深度地下インフラコンセプト図



図3 大深度地下インフラ(ルート図、断面図)

表1 豊洲開発延床面積(m²)

丁目\用途	業務系	商業系	住居系	教育等	合計
豊洲2丁目	332,800	133,100	144,500	0	610,400
豊洲3丁目	390,900	57,000	225,600	115,000	788,500
豊洲5丁目	118,100	8,050	69,500	0	195,650
豊洲6丁目	1,040,000	210,000	450,000	50,000	1,750,000
豊洲合計	1,881,800	408,150	889,600	165,000	3,344,550

表2 築地開発延床面積(m²)

地区\用途	業務系	商業系	住居系	教育等	合計
築地	1,150,000	250,000	1,000,000	100,000	2,500,000

2-3 大丸有地区の現状について

大丸有地区には7地区のDHC⁵⁾が存在するが(図4)、F地区では電気式のDHCとなっておりCGS排熱をそのまま活用することが出来ないため本研究の対象地域からは除外する(表3)。

また平成12、15年度熱供給事業便覧⁶⁾の値から現状としてモデル年間需要量(温熱940TJ、冷熱1,200TJ)(表4)を想定した。

3. システム提案と蒸気使用量及び電力使用量

3-1 設定条件

CGS、吸収式冷凍機、個別供給における各機器の能力を参考文献⁶⁾、H社カタログ値、既存研究³⁾から表5、6、7のように設定する。

3-2 豊洲地区へのシステム提案

2-1より豊洲地区の年間需要量は、温熱需要が793TJであり、冷熱需要が1,144TJとなる。また、豊洲地区は開発区域が広い為、対象区域の2丁目、3丁目、5丁目、6丁目それぞれDHCプラントを置くこととした。温熱はCGSからの蒸気を直蒸で使用し、冷熱はCGSからの蒸気を有効に活用できる高効率吸収式冷凍機(表6)を採用する(表8、図5)。

この時、温熱需要量793TJを賄うときに必要な蒸気量は320千t、吸収式冷凍機で必要となる蒸気量を機器の蒸気消費量に稼働時間をかけて求めたところ約460千tとなり、合計で780千tとなる。また、DHCの各プラントにおいて必要な年間電力量はまず冷凍機で使用される電力と冷水搬送動力を求め、その値とDHCからご提供頂いたデータから所内の消費電力割合(表9)を求めて計算を行った。その結果豊洲の全DHCプラントによる電力消費量は47GWhとなる。

3-3 築地地区へのシステム提案

2-2より築地地区の年間需要量は、温熱需要634TJ、冷熱需要733TJとなる。築地地区はDHCプラントを一箇所と想定する。この時、豊洲地区と同様に温熱はCGSからの蒸気、冷熱は吸収式冷凍機を用いることにする(図5)。

この時、温熱需要に必要な蒸気量は250千t、冷熱需要に必要な蒸気量は機器構成(表10)より290千tとなり、合計で540千tとなる。またDHCプラントにおいて必要な年間電力量は11GWhとなる。

3-4 大丸有地区へのシステム提案

3-4-1 大丸有地区への蒸気搬送ルート

2-3より、大丸有地区においてはCGSからの蒸気を送る対象となるDHCが6地区あり、既存の配管網がそれぞれに既に整備されている。これらの配管網へ、大深度地下インフラを利用して豊洲地区から立坑(大手町合同庁舎跡地に設定)を通りG地区まで無駄なく蒸気を搬送することが必要である。そこでネットワーク化の方法として既存のDHC配管同士を新規の配管で結び各地区をつなげる「末端接続方式」と、各プラント同士を新規の配管で結び各地区を繋ぐ「プラン

表3 大丸有地区DHC

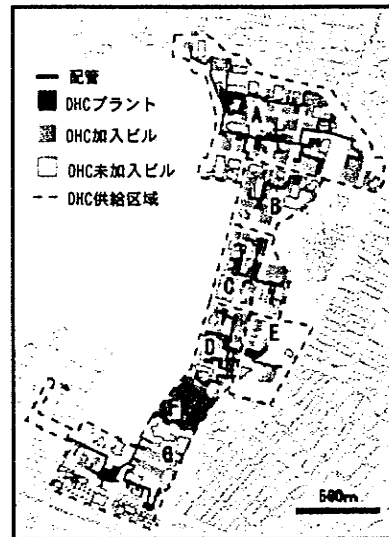


図4 大丸有地区現況図

設備機器表	
地区	機器
A	ボイラー
	吸収式冷凍機
B	ターボ冷凍機
	ボイラー
C	ボイラー
	ガスタービン
D	ボイラー
	ボイラー
E	吸収式冷凍機
	ターボ冷凍機
	ヒートポンプ
	蓄熱層
F	ヒートポンプ
	ターボ冷凍機
	アイスジェネレータ
	蓄熱層
G	ボイラー
	吸収式冷凍機
	ターボ冷凍機
	蓄熱層

表4 モデル年間需要量

地区	販売量		ガス使用量 (千m ³)	使用電力 (GWh)
	蒸気量(TJ)	冷水量(TJ)		
大丸有	937	1,206	41,571	90

表5 CGS能力

発電出力 (kW)	燃料消費 量(Nm ³ /h)	回収蒸気量 (kg/h)	発電効率	総合効率
300,000	81,882	667,798	32%	79%

表6 吸収式冷凍機能力

負荷名称	低負荷	中負荷	高負荷
	1台の機器を80%以下の負荷率で動かす	複数台の機器を負荷率40~80%で動かす	全ての機器を80%以上の負荷率で動かす
蒸気消費率 (kg/h-USRT)	3.65	3.5	3.49

表7 個別供給機器能力

	年間COP	年間効率
PAC	2.7	
ボイラー		0.8
ガス給湯器		0.8

表8 豊洲冷凍機容量台数表

地区	合計容量	US冷凍トン	台数
2丁目	9,500	500	3
		1,000	2
		2,000	3
3丁目	10,500	500	2
		1,000	2
		1,500	3
		2,000	1
5丁目	2,750	250	3
		500	4
6丁目	26,000	1,000	1
		1,250	4
		2,500	2
		5,000	3

合計容量単位: US冷凍トン

表9 所内消費電力割合

	所内消費電力割合
照明	2%
空調・その他	6%
冷却塔	16%
冷凍機(ポンプ動力含)	76%

表10 築地冷凍機容量台数表

地区	合計容量	US冷凍トン	台数
築地	32,000	1,000	2
		1,250	4
		2,500	2
		5,000	4

合計容量単位: US冷凍トン

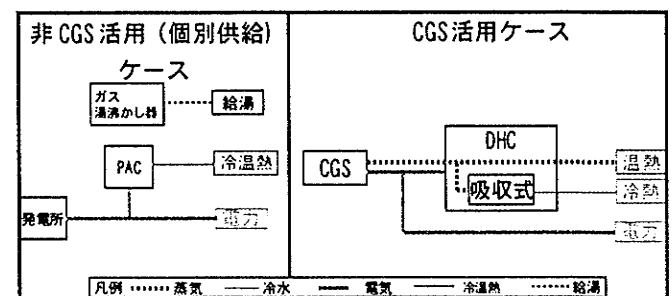


図5 システム設定図

698

ト接続方式」について、それぞれ圧力損失、熱損失、新規配管長さ⁸⁾について算定した(表11)。表11より末端接続方式ではG地区プラントへの到達圧力が0.78MPaより低下し、プラント接続方式では熱損失が4,224MJ、新規配管長が3,136mと大きく、末端及びプラント接続方式では現実的に難しいことが分かった。

そこで本論文では蒸気流量が大きな間はプラント接続方式を行い、蒸気流量が減ってきたところでは末端接続方式を行う混合接続方式(図6)を採用し、図7のようなルートで蒸気を送る提案をする。

3-4-2 CGS+DHC 既存機器活用システム

CGSからの蒸気を活用するにあたり、第一段階としてDHCの既存機器を活かし、DHCにおいてボイラーで製造している蒸気をCGSからの蒸気と置き換え、温熱と吸収式冷凍機で用いる事にする(図8)。

この時年間必要な蒸気量は530千tとなり、また年間のボイラーで使用される電力消費がなくなるために、プラントで使用される電力量はモデル年間需要量比へ抑えられ84GWhとなる。

3-4-3 CGS+DHC 冷凍機器更新システム

第二段階として既存の冷凍機器を吸収式冷凍機に更新する事を想定する(図9)。また蒸気供給対象地区のうちC、D地区は冷水供給は行っていないため機器更新対象から外すことにする。

この時年間需要量は温熱需要940TJ、冷熱需要1,200TJとなるが、冷熱生産について全て吸収式冷凍機で製造する(表12)ため年間で必要な蒸気量は850千tとなり、年間使用電力量は63GWhとなる。

3-4-4 CGS+DHC 全域に熱供給システム

大丸有地区におけるCGS排熱活用の第三段階として、現在地区内に存在するDHC未加入ビルが全て加入し、DHC地区の全てに熱供給することを想定する。この時、DHC供給先として約190万²mの延床面積が増加し、年間2,000TJの熱需要が増加するため、豊洲地区、築地地区、大丸有地区全体の総熱需要量を考慮すると豊洲の30万kWのCGSの容量を約600GJ程度超えてしまう。よって不足分のCGS容量は約11万kWになり、10%の余裕を持たせ12万kWのCGSを増設するように設定する。またCGSの立地場所は、蒸気搬送のロス为了避免のため大手町立坑に設けることにする。

この時、大丸有地区の年間需要量は温熱1300TJ、冷熱2900TJとなり、追加機器構成は(表13)(図10)のようになる。よって年間で必要な蒸気量は1670千tとなり、使用電力量は161GWhとなる。

4. CO₂ 排出量削減効果の検証

4-1 各ケースにおけるCO₂ 排出量

3.において豊洲、築地、大丸有地区それぞれの温熱、冷熱需要に基づく蒸気使用量を求めた。これに大深度、浅深度の配管で蒸気を搬送する際に発生する年間の熱損失を加味して必要な蒸気量を算出し、CGSの回収蒸気量からCGSの天然ガス使用量を割り出し、

表11 接続方法の検討表

接続方式	到達圧力(Mpa)	熱損失(MJ)	新規配管長(m)
末端	0.711	2,834	1,092
プラント	0.972	4,224	3,136
混合	0.825	3,201	1,991

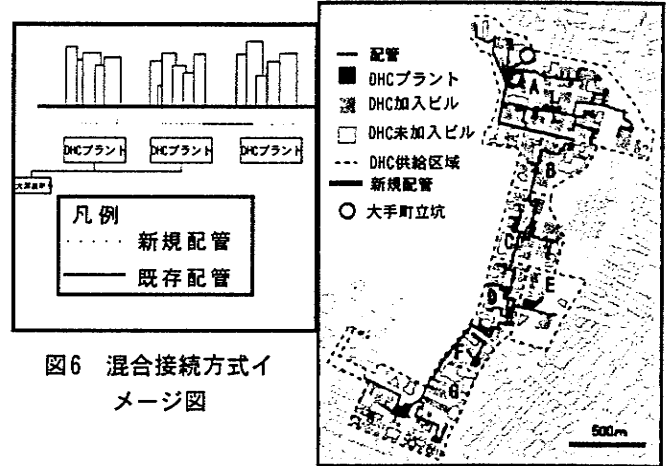


図6 混合接続方式イメージ図

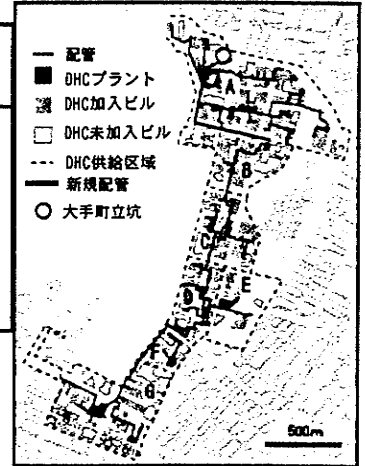


図7 接続ルート図

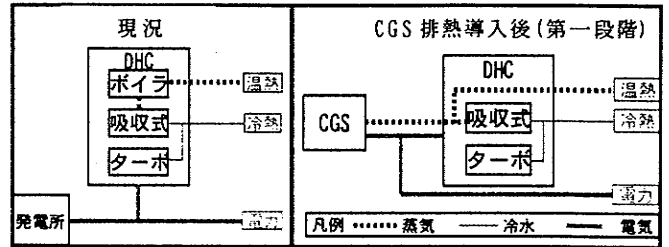


図8 システム設定図

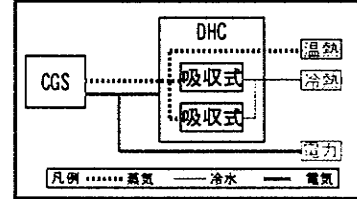


図9 機器更新システム設定図(第二段階)

表12 大丸有冷凍機容量台数表

地区	合計容量	US冷凍トン	台数
A	25,000	500	6
		1,000	4
		2,000	4
		5,000	2
B	12,000	500	2
		1,000	2
		2,000	2
		5,000	1
E	2,900	250	4
		500	2
		900	1
G	8,200	500	2
		1,000	2
		1,200	1
		2,000	2

合計容量単位: US冷凍トン

表13 大丸有地区追加冷凍機容量台数表

地区	追加容量	US冷凍トン	台数
A	8,000	3,000	1
		5,000	1
B	2,000	2,000	1
C	8,500	500	2
		1,000	3
		2,000	3
		5,000	1
D	3,500	500	2
		1,000	3
		2,000	3
E	1,000	1,000	1
G	1,300	1,300	1
		5,000	1

合計容量単位: US冷凍トン

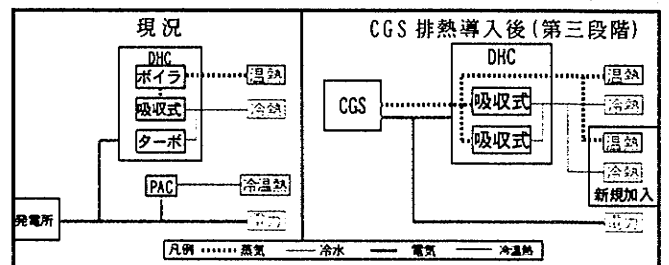


図10 システム設定図(第三段階)

CO2 排出量を求めた(表 14) (CO2 排出原単位はマージナル電源の考え方にに基づき東京電力の 2002 年度の公表値による火力平均の CO2 排出原単位 0.666kg/kwh を用いる)。また電力は、CGS から生産される電力から DHC プラントで消費される電力を除いた部分を販売するものとする。

比較対象である非 CGS 活用ケースとして豊洲、築地では熱供給は個別供給、電気は火力発電所を利用するケース、大丸有地区では既存 DHC 利用と未加入ビルの熱供給は個別供給、電気は火力発電所を利用するケースを設定し CO2 排出量を求めた(表 15)。この時、それぞれの場合での CO2 削減量は、CGS を用いたときの既存機器活用ケース(第一段階)で 39 万 t となり、削減率は 45%、機器更新ケース(第二段階)で 42 万 t となり削減率は 43%、全域に熱供給ケース(第三段階)で 54 万 t となり削減率は 41%となった(図 11)。

なお、機器更新ケース(第二段階)は、既存機器活用ケース(第二段階)よりも削減率が小さくなっているが、これは現在 DHC が所有する高 COP のターボ冷凍機も吸収式冷凍機に置き換えているためだと考えられる。同様に未加入ビルまで熱供給を拡大した場合、ポンプ動力が増大するため削減率が小さくなっている。

4-2 全電源平均 CO2 排出原単位による CO2 排出量

これまでマージナル電源の考えのもと火力平均の CO2 排出原単位を用いて CO2 排出量を求めてきたが、参考に、全電源平均 CO2 排出原単位(0.381kg/kWh)を用い全域に熱供給ケース(第三段階)の CO2 排出量を計算した場合の結果を示す。CGS 活用ケースで CO2 削減量 3.7 万 t、削減率は 5%となる。(図 12)。

5. 結論と今後の展望

5-1 結論

本研究では、大規模 CGS を活用した大深度地下熱電供給システムとして大深度地下インフラルート上に計画されている再開発案の調査と熱需要量の算定、システム提案とそれによる CO2 削減効果の検証を行った。その中で、下記の結論が得られた。

- ・大丸有地区に蒸気の一括供給を行う場合、DHC 地区のネットワーク方法としては、混合接続方式が最善であると考えられる。
- ・未加入ビルへ熱供給を拡大した場合は豊洲 30 万 kW に加え 12 万 kW の CGS の増設が必要となる。
- ・大規模 CGS 導入による熱電エネルギー供給では、それぞれ既存機器活用ケース、機器更新ケース、全域に熱供給ケースの 3 つに分けて検討を行ったが、いずれも 40% 程度の CO2 削減効果を得た。

5-2 今後の展望

CGS 導入によって CO2 削減効果を得られることが分かったが、より一層の CO2 削減効果を得るためには未利用エネルギーの活用が不可欠であると考えられる。今後は CGS、未利用エネルギー相互の活用を含めた総合的な視点での研究が必要と考えられる。

表 14 各システムの CO2 排出量

システム	販売量		CGS 天然ガス (千N*m ³)	CO2排出量(t)
	冷熱、温熱合 計(TJ)	電力(GWh)		
既存機器活用 (第一段階)	5,448	705	233,617	473,355
機器更新 (第二段階)	5,448	877	272,416	551,969
全域に熱供給 (第三段階)	7,442	1,162	377,187	764,255

表 15 非 CGS 活用ケースの CO2 排出量

システム	販売量		CGS 天然ガス (千N*m ³)	CO2排出量(t)
	冷熱、温熱合 計(TJ)	電力(GWh)		
非CGS(第一段階)	5,448	705	-	865,477
非CGS(第二段階)	5,448	877	-	973,480
非CGS(第三段階)	7,442	1,162	-	1,301,639

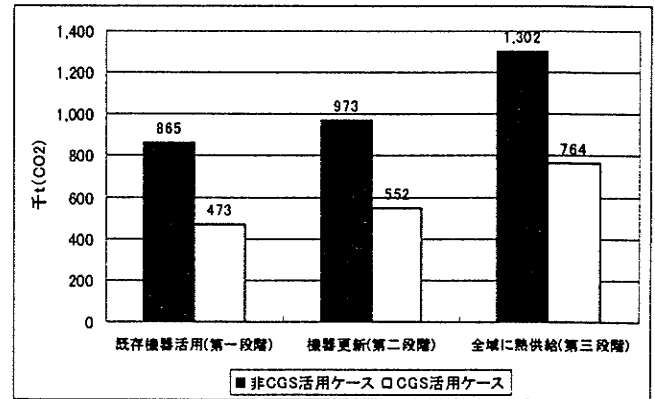


図 11 CO2 排出量

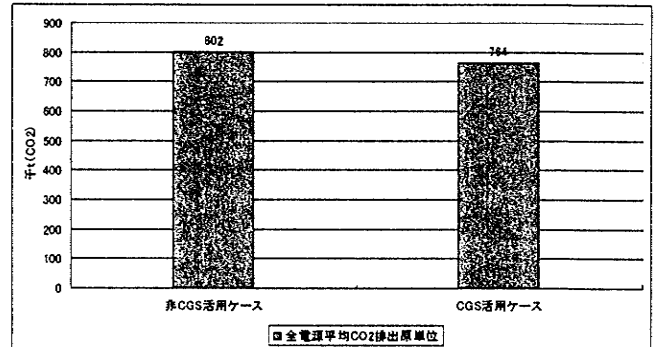


図 12 CO2 排出量比較(第三段階)

参考文献

- 1) 『東京湾臨海部における新しいエネルギーインフラストラクチャに関する調査報告書』 通産省 平成元年
- 2) 『分散型電源配置による熱供給事業ネットワーク化に関する研究』 NEDO 平成 12-14 年度産業技術研究女性事業研究成果報告書 早稲田大学 李海峰 平成 15 年
- 3) 『東京圏周辺地域における防災性能向上に関する研究：大深度地下インフラを活用したケーススタディ』 日本建築学会 2003 年度関東支部研究発表会 研究報告集 1, p. 551-554 石川潤一 尾島俊雄
- 4) 『建築の光熱水源単位』 尾島俊雄研究室 早稲田大学出版部 平成 7 年
- 5) 『都心の地域冷暖房』 丸の内熱供給株式会社
- 6) 『熱供給事業便覧』 資源エネルギー庁 日本熱供給事業協会 平成 12、15 年
- 7) 『コージェネレーション総合マニュアル』 日本コージェネレーションセンター 通産資料出版会 平成 15 年
- 8) 『建築設備設計マニュアルⅡ 給排水・衛生編』 建築設備技術者協会 昭和 59 年

- *1 早稲田大学理工学部建築学科
- *2 早稲田大学大学院修士課程
- *3 早稲田大学理工学部助手・工修
- *4 早稲田大学理工学総合研究センター教授・工博
- *5 早稲田大学教授・工博