極低温大容量送電線の導入が予想される 国内大都市の将来送電システムモデルの構築

正員 早川直樹 (名古屋大)

正員 松村年郎 (名古屋大)

正員 鬼頭幸生 (名古屋大)

1. ま え が き

我が国の大都市地域においては、高度情報化社会の進展により電力需要は大容量化と共に高密度化し、電力システムは今後ともケーブルシステムを中心に複雑に拡充していくと考えられる。著者らは、このような地域への将来の高密度大電力輸送技術の一つとして、極低温送電線（ここでは超電導ケーブルおよび極低温抵抗ケーブルを総称するものとする）の導入を想定し、在来送電システムとの協調的なシステム構成および運用方法に関する検討を行っている⁽¹⁾。その検討を実態から遊離しないようにするために、日本の三大都市における電力システムの現状を調査し、それぞれの特徴を備えた将来のモデル送電システムを3種類再構築した。そして、それらのモデル上において極低温送電線の導入効果の検討を進めている。本論文では、その極低温送電線導入の背景となる大都市における将来（21世紀初頭）のモデル送電システムの具体的構築方法を示し、それを通じて大都市への大容量送電線導入に関する一つの指針を提示する。

電力システムは、その地域の発展状況などによってそれぞれ異なった成長過程を経て、その地域に固有のシステムを構成している。それは、たとえ将来、新送電技術を導入するためであっても、すべて廃棄・再構成できる性質のものではない。従って、極低温送電線が導入されるような将来の電力システムを検討する場合にも、それまでに形成された在来送電システムの形態のうえに検

討を進める必要がある。そこで本論文では、日本の代表的大都市である東京、大阪、名古屋の三都市を参考にすることとし、各地区における最近の送電システム構成および負荷分布について調査を行い、既存の電力システムの形態を把握することから検討を始めた。更に、21世紀初頭におけるモデル都市送電システムをそれぞれ構築するにあたっては、次の方針を採用した。

(1) 調査から得られた特徴を活かす。

(2) 我が国で伝統的に採用されている放射状形態は将来も維持されるものとする。

(3) ここでは将来、極低温送電線のような高密度大容量送電線が導入されるという方向で、その導入が容易かつ効果的になるように配慮する。

すなわち、本論文で構築するモデル都市送電システムは昭和75年（西暦2,000年）時点の予想最大負荷に対処できるものであり、更にそれ以上将来の電力供給に対処するためには、極低温送電線のような高密度大容量送電線の導入が必要であるということを想定している⁽¹⁾。

以上のように、大容量送電線を導入することを前提として各地域のモデルシステムを構築しているが、それらは我が国における大都市電力システムの現状および近未来の形態を十分に模擬している。そのため、極低温送電線導入問題の検討だけではなく、我が国における将来の都市電力供給の諸問題に対する検討にも、ここで構築したモデルシステムを利用できると考えている。

以下に、各地域のモデルシステムを構築する際に採用した手順を東京地区を例にとって説明する。

2. 大都市送電システムの現状

東京地区周辺の最近における送電システムの概要を図1に示す⁽²⁾。同図から、この地域の周辺には500kVの

Prospective Electric Power System Models for Future Large Cities in Japan as a Background System Prior to Introduction of Cryogenic Power Cables. By Naoki Hayakawa, Member, Toshiro Matsumura, Member & Yukio Kito, Member (Faculty of Engineering, Nagoya University).

早川直樹：正員，名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程

松村年郎：正員，名古屋大学工学部電気学科

鬼頭幸生：正員，名古屋大学工学部電気学科

図 1 東京地区周辺の送電系統図 (昭和 58 年時点)

Fig. 1. Diagram of electric power system around Tokyo area on 1983 AD.

表 1 東京、大阪、名古屋地区の送電系統構成の現状および将来

Table 1. Recent and future aspects of electric power systems in Tokyo, Osaka and Nagoya districts.

	東京 (GAMMA)	大阪 (BETA)	名古屋 (ALPHA)
現状			
都心地域供給形態	275 kV ケーブル系統の導入	154 kV ケーブル系統の導入	154 kV ケーブル系統の導入
電圧系列	500~275~154	500~154	500~154
将来			
都心地域供給形態	275 kV ケーブル系統の拡充	154 kV ケーブル系統の拡充	275 kV ケーブル系統の導入
電圧系列	500~275~154	500~154	500~275~154

外輪線が環状に形成されており、ここに遠隔地の大規模発電所から送電されてきた電力がプールされ、下位電圧階級の二次送電線によって都内に電力が供給されている様子がわかる。また、都心部の過密需要地域においてはケーブル系統が拡充されている (同図破線)。この図上においては、既設の送電線を形式的に描いているため、数多くのループを形成しているように見える。しかし、実際には系統運用上は放射状系統となるように構成されている。以上の様子は、大阪地区および名古屋地区においても類似しており、大都市送電系統に共通的な形態であると言える。

東京、大阪、名古屋の各地区における送電系統構成の特徴を整理して表 1 に示す⁽³⁾⁽⁴⁾。この三地区のうち、大阪地区における大きな特徴として、現状および近い将来ともに 275 kV ケーブルの都心部への導入が考えられていないことが挙げられる⁽³⁾。

3. モデル都市の設定

〈3-1〉 都市モデル化範囲内の分類 図 1 の東京地区における送電系統図において、次の理由から、一点鎖線で囲んだ 30 km×35 km の領域をモデル化範囲とした。すなわち、この領域は東京 23 区、近隣的主要衛星都市、および都心部への電力供給の拠点となる 275 kV 変電所を含むように設定したものである。このモデル化範囲内を「別冊民力 エリア・都市別民力測定資料集」⁽⁵⁾ (以下、「民力」と略記) によって、以下に示すように中心部、工業地域、中心部周辺および郊外の四地域に分類する。東京地区において使用した「民力」のデータの一部を表 2 に示す。

(1) 中心部 「民力」では、千代田、中央、港、新宿、文京、台東、渋谷、豊島の 8 区を都心拠点地域としている。このうち、表 2 中の昼夜間人口比 (昼間人口の夜間人口に対する比) の値が大きい区域を、都市機能の中核部であると考えてみた。具体的には、上

表 2 東京地区における人口および産業指標⁽⁵⁾

Table 2. Indicator of population and industry in Tokyo area.

分類	地 域	面 積 (km ²)	昼夜間人口比 (%)	産業 3 部門別就業人口比*	工場数
中心部	千代田区	11.5	1,709	0 : 16 : 84	1,166
	中央区	10.1	793	0 : 19 : 81	1,036
	港区	20.0	352	0 : 19 : 80	1,353
	新宿区	18.0	200	0 : 22 : 77	1,652
工業地域	大田区	48.6	99	0 : 38 : 61	4,645
	墨田区	13.8	117	0 : 43 : 56	3,528
	江東区	36.9	103	0 : 36 : 64	2,446
	葛飾区	33.9	86	0 : 41 : 58	3,281
	江戸川区	47.4	86	1 : 40 : 59	2,803
	川崎地域	75.3	113	0 : 44 : 56	2,229
中心部周辺	横浜地域	109.5	107	1 : 31 : 68	1,828
	文京区	11.4	160	0 : 27 : 73	1,688
	台東区	10.0	181	0 : 32 : 68	2,412
	渋谷区	15.1	187	0 : 21 : 79	595
	豊島区	13.0	128	0 : 26 : 74	1,035
	品川区	20.9	116	0 : 32 : 68	2,251
	目黒区	14.4	97	0 : 26 : 74	1,005
	世田谷区	58.8	86	1 : 25 : 74	882
	中野区	15.7	78	0 : 23 : 77	560
	杉並区	33.5	77	0 : 24 : 76	516
	北区	20.6	91	0 : 32 : 67	1,343
	荒川区	10.3	98	0 : 41 : 59	2,376
	足立区	53.3	87	1 : 40 : 59	3,158
	板橋区	31.9	93	0 : 36 : 64	2,764
	練馬区	47.0	78	1 : 30 : 69	1,013
郊外	川口市	55.7	87	2 : 43 : 54	2,946
	新座市	22.9	82	3 : 39 : 58	346
	武蔵野地域	88.7	85	1 : 30 : 69	1,122
	府中・調布地域	140.4	82	1 : 33 : 66	1,112
	中原・港北地域	169.0	84	2 : 41 : 57	3,285

* ...第 1 次産業 : 第 2 次産業 : 第 3 次産業

記8区の中からその値が200%以上の地域、すなわち千代田、中央、港、新宿の4区を中心部として分類した。

(2) 工業地域 「民力」の記述のうち産業3部門別就業人口比と工場数とに着目し、両数値が比較的大きい臨海地域を工業地域として分類した。具体的には、大田、墨田、江東、葛飾、江戸川の5区および川崎、横浜の2地域がこれに対応する。

(3) 中心部周辺 東京23区から中心部の4区および工業地域の5区を除いた地域を中心部周辺として分類する。

(4) 郊外 モデル化範囲全域から中心部、工業地域および中心部周辺を除いた地域を郊外として分類する。

以上の考え方に立脚して、東京地区のモデル化範囲内を4地域に分類したものが図2である。

〈3・2〉都市のモデル化 前節のモデル化範囲の分類に従い、図3に示すように都市をモデル化している。同図の◎印および○印は変電所であるが、これらについては後述する。モデル化に際しては、図2における各地域の形状、表2における各地域の面積を考慮しながら、できる限り幾何学的に単純な構成になるようにした。このように、都市をモデル化した時点で東京地区という実態から脱却し、以下では GAMMA 都市と呼ぶことにする。

GAMMA 都市における四地域について、昭和60年における電力需要の実績値から、昭和75年（西暦2,000年）時点における最大電力需要を表3に示すように予想した。同表では、モデル化範囲全域での平均伸び率として1年あたり3.1%を見込んでいる。この値は電気事業便覧⁽⁶⁾などで想定されているものと同程度である。

この昭和75年における最大負荷時を想定して、モ

図2 モデル化範囲の分類（東京地区）

Fig. 2. Classification of the model region in Tokyo area.

図3 GAMMA 都市における変電所配置

Fig. 3. Supposed distribution of substations in GAMMA model city.

表3 GAMMA 都市における最大電力需要の最近の実績値および昭和75年時点の想定値

Table 3. Actual and supposed maximum power demand in GAMMA model city.

地 域	昭和60年 (MW)	面 積 (km ²)	伸び率 (%/年)	昭和75年 (MW)
中 心 部	3,000	60	3.3	4,900
工 業 地 域	2,980	354	3.1	4,720
中心部周辺	2,930	426	3.2	4,700
郊 外	2,590	210	2.5	3,760
計	11,500	1,050	平均 3.1	18,080

デル都市内の変電所を図3に◎印および○印で示すようにモデル的に配置した。ここで、◎印は275kV変電所、○印は154kV変電所を示す。同図には、その変電所で供給する負荷の大きさを併記している。将来の負荷の増加に対処するために変電所数は増設されると予想される。その地点については具体的状況はわからないが、供給上変電所はほぼ等間隔に分布する傾向があると想定して、現状および増設分を等間隔にモデル的に配置している。増設変電所の電圧は都心地域の基幹系統の最高電圧階級とし、表1から275kVとしている。その結果、変電所の総数は40となり、1変電所あたり平均450MWの最大負荷を供給することになる。同図において、発電機の記号は文字どおり

表 4 3モデル都市における最大電力需要の最近の実績値および昭和75年時点の想定値

Table 4. Actual and supposed maximum power demands in three model cities.

		GAMMA	BETA	ALPHA
対象区域 (km×km)		30×35	20×30	20×25
最近の電力需要 (実績値)	需 要 (MW)	11,500 (昭 60)	5,860 (昭 60)	3,680 (昭 56)
	密度 (MW/km ²)	11.0	9.8	7.4
昭和75年の 電力需要 (想定値)	需 要 (MW)	18,080	9,180	6,340
	密度 (MW/km ²)	17.2	15.3	12.7
平均伸び率 (%/年)		3.1	3.0	2.9
変電所数	275 kV	18	0	8
	154 kV	22	26	16
1変電所あたり平均負荷 (MW)		450	350	260

都市周辺の火力発電所を示しているものもあるが、大電力を受電・変電している外輸線上の変電所を表し、これらをこのモデル都市における発電機母線とみなしている。

同様に、大阪地区および名古屋地区の調査を行い、それを参考にしてモデル都市を設定し、それぞれ BETA 都市および ALPHA 都市と呼ぶことにした。以上の三モデル都市 (GAMMA, BETA, ALPHA) における昭和75年時点の予想最大電力需要について、その大きさおよび需要密度を表4にまとめて示す。同表で、各モデル都市における電力需要については、中心部、郊外などの各地域ごとに表3と同程度の伸び率を想定している。

4. 将来モデル都市送電系統の構築方針

〈4・1〉 採用した基本的な系統構成の考え方 大都市送電系統においては、都心部における土地の余裕、建設コストなどの面から、在来送電線による拡充は将来行きづまると予想される。これに対処するためには、少ないルート数で大電力を輸送することのできる新しい高密度大容量送電線を導入することになるものと思われる。図1に示した GAMMA 都市の現状において、275 kV ケーブルが都心部に導入されている例はその兆候と言える。従って、将来のモデル送電系統を構築する場合、高密度大容量送電線の導入を前提として検討を進めるのが妥当であると考えられる。

著者らは、高密度大容量送電線の例として、極低温送電線を取り上げ、その大都市への導入に関して次節のような考え方を提案している⁽¹⁾。本論文でも、その考え方に従って極低温送電線導入の下地となるモデル系統を構築している。

〈4・2〉 極低温送電線導入の基本方針 極低温送電線は1回線あたり 3,000~10,000 MW の大電力を低損失で輸送することができるとされている⁽⁷⁾。しかし、これで電力輸送システムを構築するためには、極低温環境下で動作する開閉装置の開発など、極低温送電線そのものの開発以外に解決すべき課題が数多くある。そのため、極低温送電線はその導入初期においては、現在の直流送電と同様に2変電所間に設置され、とりあえず多端子運用はされないものと考えられる。そこで、このような高密度大容量送電線を都市に導入するには、その送電端を大電力が集中している外輸線上の変電所または近隣の大電源とし、そこから都心部に直接導入することが想定される。都心部に一括送電された大電力は、既設の 275 kV および 154 kV 在来送電線に分配され、消費される。このように極低温送電線を導入することにより、まず都心部の過密需要地域に十分な電力を低損失で供給することができ。そして、極低温送電線の送電電力が過大場合には、その余剰電力を都心部から周辺部へ逆送して供給することもできる。これは、あたかも都心に大容量発電所が建設されたことと等価であると考えられると同時に、従来周辺部から都心に向かう複数ルートの送電線において、その全長にわたって大きな潮流が流れるのを軽減する効果をもつ。このように、都心部に一括送電された大電力を効果的に分配するためには、極低温送電線の受端となる都心部の変電所に、在来送電線のある程度集中させておく必要がある。

ここで、極低温送電線の都心部導入により都心部から周辺部へ電力を逆送する形態では、その逆送電力を供給する送電線と外輸線から都市内に浸透してくる送電線とがループを形成する形態も考えられる。しかし、日本の大都市過密需要地域においては、電力供給形態として、従来から放射状形態が維持されている。本論文では、放射状系統に対する既設の保護継電システムの存続の観点から、将来的にも放射状形態を想定している。そのため、周辺部の適当な変電所において母線を分割しておき、外輸線側からと都心部側からの両方向からの送電線をそれぞれ別々の母線に接続することにする。これにより、系統を放射状に維持することができると共に、それらの変電所が受電する電源線を2ルート化することになり、供給信頼度を向上させることができる。また、充電状態で待機している送電線が減少し、在来送電線の有効利用にもなる。

5. モデル都市送電系統

〈5・1〉 想定した送電容量および線路定数 本章

表 5 送電線の送電容量および線路定数

Table 5. Transmission capacities and line constants of transmission lines.

電 圧	種 類	採 用 都 市	導 体 構 成	送 電 容 量	$R(\Omega/\text{km})$	$L(\text{mH}/\text{km})$	$C(\mu\text{F}/\text{km})$
500 kV	架空線	GAMMA BETA, ALPHA	TACSR 810 mm ² ×4	6,000 MW/1 cct	0.012	0.85	0.014
			ACSR 410 mm ² ×4	2,250 MW/1 cct	0.020	0.90	0.013
275 kV	架空線	GAMMA ALPHA	TACSR 610 mm ² ×4	3,000 MW/1 cct	0.014	0.81	0.015
			ACSR 330 mm ² ×2	700 MW/1 cct	0.049	1.03	0.012
	在 来 ケーブル	GAMMA ALPHA	OF 1,600 mm ²	1,500 MW/3 cct	0.013	0.35	0.35
			CV 2,500 mm ²	1,000 MW/3 cct	0.0075	0.38	0.26
154 kV	架空線	GAMMA BETA BETA, ALPHA	LN ₂ 冷却 7,500 mm ²	5,000 MW/1 cct	0.00033	0.029	0.53
			LN ₂ 冷却 4,500 mm ²	3,000 MW/1 cct	0.00056	0.046	0.33
			TACSR 1,520 mm ²	750 MW/1 cct	0.019	1.01	0.012
	在 来 ケーブル	GAMMA BETA ALPHA	TACSR 1,160 mm ²	500 MW/1 cct	0.025	1.05	0.012
			ACSR 610 mm ²	225 MW/1 cct	0.047	1.09	0.011
			水冷 OF 2,000 mm ²	1,000 MW/3 cct	0.010	0.32	0.73
			OF 2,000 mm ²	1,000 MW/6 cct	0.010	0.32	0.73
			CV 800 mm ²	450 MW/3 cct	0.023	0.41	0.19

で示す各都市モデル系統は、昭和 75 年時点において、重負荷送電線および低電圧母線が発生しないように、潮流計算を行いながら修正を加え、構築したものである。ここでは、各モデル系統を構成している送電線の送電容量および線路定数について設定した値を表 5 にまとめて示す。同表には、次章においてその導入効果の検討を行う極低温送電線の送電容量および線路定数を併記している。本論文における潮流解析には、極低温送電線として LN₂ (液体窒素) 冷却レベルの極低温抵抗ケーブルを想定している。

本論文では、比較的短距離の送電線でモデル系統を構築しているため、送電容量については送電線の許容電流から制限される連続送電容量を文献により調査し⁽⁸⁾⁻⁽¹⁰⁾、事例に基づいた値を採用している。ケーブルについては、送電容量は敷設回線数に比例して大きくはならないため、1 ルートあたりの値を想定して示している。また、線路定数については 1 回線あたりの値を示している。

〈5・2〉 GAMMA 都市モデル系統 第 3 章でモデル化した GAMMA 都市において、表 1 に示した送電系統の現状と計画とを参考にし、第 4 章の基本的な考え方に従って、本都市のモデル系統を構築した。それを図 4 に示す。原則として現存する送電ルートをそのまま残している。更に、極低温送電線の導入を想定して、都心部に在来送電線がある程度集中した変電所ができるように、在来送電ルートの拡充を行っている。

同図で、最外部の四角で囲んだ領域がモデル化範囲 (30 km×35 km) である。その外側の外輪線および電源の配置は形式的に表したものであり、モデル化範囲内

図 4 GAMMA 都市モデル系統

Fig. 4. Configuration of electric power system model in GAMMA city.

の距離とは比例関係にはない。同図では、更に将来の高密度大容量送電線の導入を想定して変電所を複母線で表している。以上のことは、BETA および ALPHA 都市についても同様である。この結果、本モデル系統は 8 機 88 母線の系統となっている。

GAMMA 都市では、都心における電力需要がその絶対量も密度も非常に大きく、現状において 275 kV ケーブル系統が都内に東西南北 4 方向から 6 ルート導入されている (図 1 参照)。今後も、275 kV ケーブル系統が更に拡充されていくと言われている⁽³⁾。

GAMMA 都市は、その中心部に国家の政治、経済、文化の中枢機能が集中しており、電力供給の信頼度には特別の配慮が必要であると考えられる。従って、本都市モデル系統に今後 275 kV 系統を導入していく形態としては、都市内を縦断および横断するように導入して外輪系統との関係を強固にし、更に高密度大容量送電線の受端となる拠点変電所を 2 点とすることを考える（すなわち、高密度大容量送電線を 2 ルート導入する）。これにより、都内の系統が二つに分割され、両系統をそれぞれ高密度大容量送電線を含む系統として独立に運用できる。これによって、このような巨大都市の送電系統における事故の波及範囲の拡大を抑制することができ、また事故電流の増大を抑えることもできる。以上のような考えに基づいて構築したモデル系統が図 4 である。架空線は基本的に 1 ルート 2 回線、ケーブルは 1 ルート 3 回線で構成している。

〈5・3〉 BETA 都市モデル系統 BETA 都市モデル系統を図 5 に示す。BETA 都市におけるモデル化範囲は 20 km×30 km である。本モデル系統は 4 機 58 母線系統である。

BETA 都市の現状では、都心部過密圏に対し、周辺の 500 kV 外輪系統の拠点変電所から直接多回線の 154 kV 架空線およびケーブルを導入している。そのうち、モデル都市の東側に存在する外輪線上的変電所から都心部へ送電する 3 ルートが基幹送電ルートとなっている。

本モデル系統においても以上の特徴を踏まえ、モデル化範囲内の在来送電系統を 154 kV 送電線のみで構成し、架空線は基本的に 1 ルート 4 回線、ケーブルは

図 5 BETA 都市モデル系統

Fig. 5. Configuration of electric power system model in BETA city.

図 6 ALPHA 都市モデル系統

Fig. 6. Configuration of electric power system model in ALPHA city.

1 ルート 6 回線と、1 ルートあたりの回線数を多くして構成している。また、基幹ルートを東の 3 ルートのほかに北および南にもそれぞれ 1 ルートずつ想定し、合計 5 ルートに増やしている。本モデル系統では、これらの基幹ルートが都心の変電所 M に集中するものとしている。このように、本論文で構築した BETA 都市モデル系統では、現状⁽³⁾に即して 275 kV 系統の都心部への導入を行っておらず、これによって 154 kV 系統の拡充のみで将来の需要の増加に対処しようとした場合の検討を行うことができる。

〈5・4〉 ALPHA 都市モデル系統 ALPHA 都市モデル系統を図 6 に示す。本モデル系統は 5 機 62 母線で構成されている。

ALPHA 都市では、都心部への電力供給の信頼度向上への対応策として、275 kV ケーブルを 3~4 方向から導入することが計画されている⁽³⁾⁽¹¹⁾。ここでは、それを踏まえて 275 kV ケーブルを東西南北 4 方向から導入するものとして、在来送電系統の基幹ルートを構成している。その基幹ルートが交差する都心の変電所 M が、将来の高密度大容量送電線の受端変電所になると考えている。また 154 kV 送電網についても、それらを変電所 M に集中させている。架空線は基本的に 1 ルート 2 回線、ケーブルは 1 ルート 3 回線で構成している。

6. 極低温送電線の導入効果に関する検討例

本論文で構築しているモデル都市送電系統は、昭和 75 年時点の予想最大電力を供給できるものである。

図 7 GAMMA 都市モデル系統の潮流分布
Fig. 7. Power flow distribution in GAMMA model system.

図 8 GAMMA 都市モデル系統の母線電圧分布
Fig. 8. Bus voltage distribution in GAMMA model system.

著者らは、この時点で在来系統の拡充は行きづまるものと想定し、更に将来の電力供給に対しては、高密度大容量送電線を導入することにより対処する方向で検討を進めている⁽¹⁾。その一例を GAMMA 都市モデル系統について以下に示す。

図 7 に示す太い実線は、昭和 75 年時点の GAMMA 都市モデル系統の最大負荷時 (18,080 MW) において、ルートごとの送電容量に対する潮流の比 (= 潮流 / 送電容量、以下、送電率と呼ぶ) をその大きさの順に並べたものである。(a) 図は架空線部分、(b) 図はケーブル部分である。横軸は送電率の小さい順に並べた送電ルートを示しているに過ぎない。両図から、昭和 75 年時点では、架空線部分およびケーブル部分ともに、1 回線事故に無停電で対処できる程度の余裕があり、平常送電が可能であると考えられる。また、図 8 には母線電圧分布を示している。横軸には各母線を電圧の小さい順に並べている。従来の送電系統における電圧運用実績から、母線電圧の許容変動幅を基準電圧

の $\pm 5\%$ 以内⁽¹²⁾とすると、昭和 75 年時点 (太い実線) では、すべてこの範囲内に収まっていることがわかる。

次に、昭和 75 年時点のモデル系統で、負荷だけが 10 年後の昭和 85 年の値 24,500 MW になった場合を考える。すなわち、昭和 75 年以降、在来系統の拡充が行われなかった場合を仮想的に考える。このときの潮流分布を図 7 に破線で示す。(b) 図から、ケーブル部分で重負荷となっているルートが多数発生しており、短時間の一時的送電はともかく、信頼性のある平常送電は不可能であると考えられる。それは、そこに 1 回線事故が発生した場合に生じる過負荷を解消する手段がないためである。母線電圧分布についても、図 8 の破線で示すように昭和 75 年時点に比べて全体的に著しく低下しており、許容変動幅の下限值 0.95 pu を下回る母線が 17 ノード発生している。

この時点において、特に極低温送電線を導入した場合の検討を行う。すなわち、昭和 75 年時点の在来系統に極低温送電線を導入することにより、更に 10 年後の昭和 85 年時点の電力供給を行うことができるかどうかを検討する。ここでは、図 4 において極低温送電線 (電圧 275 kV、送電容量 5,000 MW/cct) を A-M 間 (こう長 55 km) および B-N 間 (こう長 45 km) に 1 ルート 1 回線ずつ導入する場合を例にとって論じる。ほかの導入経路についても以下のような検討を行ったが、この場合が系統全体の送電損失が最小であった。なお、極低温送電線の送電電圧については、その受端変電所における変圧器容量を削減するために、都心地域の基幹系統の最高電圧階級 275 kV に等しくしている。

著者らは、〈4・2〉節に示した考え方に従い、極低温送電線の送電能力を最大限に活用するという立場を採っている。その観点から、最大負荷時において、極低温送電線にその送電容量に対応した最大の潮流 (5,000 MW) が乗るように、母線を分割しておく変電所の位置および両母線の負荷配分を設定している。このときの潮流分布を図 7 に細い実線で示す。同図から、極低温送電線の導入により在来系統の潮流分布は昭和 75 年時点と同程度にまで軽減されていることがわかる。一部のケーブルでは送電率 100% に近い潮流が流れているが、ここに事故が発生した場合の代替ルートは確保されており、平常送電は可能であると考えられる。母線電圧分布についても、図 8 の細い実線で示すように昭和 75 年時点と同程度にまで上昇しており、許容変動幅の範囲内に収まっている。

系統全体の送電損失は、昭和 75 年時点、同年の系統構成で負荷のみ昭和 85 年の値になったとした場合

および昭和 85 年時点に極低温送電線を導入した場合について、それぞれ 84.4, 168.1 および 86.4 MW となっており、極低温送電線の導入により、昭和 85 年時点の電力供給に、その 10 年前と同程度の損失で対処できることを示している。このように、大都市送電系統に極低温送電線を導入することにより、将来の電力供給を在来系統の煩雑な拡充なしで、しかも低損失で行い得ることがわかる。

以上、平常時の電力供給の面からの検討を行った。更に、極低温送電線を含む基幹電力系統の構築に際しては、事故時の安定度や信頼度に関する検討が重要である。これらについては今後の課題としたい。

7. 結 論

極低温送電線のような高密度大容量送電線の導入を想定し、全体として将来の大都市地域に適合した電力供給システムを形成できるかどうかを正確に検討するために、その背景となる在来送電方式による都市モデル送電系統の構築を試みた。なぜならば、電力系統は需要の増加と共にシステムとして成長しており、これをスクラップアンドビルト方式で改編することはできないからである。まず、日本の代表的大都市である東京、大阪、名古屋における既存の送電系統について調査を行った。その調査結果を踏まえ、各都市において 21 世紀初頭を想定したモデル送電系統を構築した。ここでは、極低温送電線の導入を効果的にするために、次のような条件の下で考察を進めた。

(1) 極低温送電線は大電力のプールされている外輪線上的変電所または近隣の大電源から都市中心部に直接導入する。

(2) 極低温送電線の受端となる都心部の変電所を想定して、在来送電線のある程度集中させる方式を考えた。

(3) 適当な変電所において母線を分割しておき、外輪線および都心の両方向から延びてくる送電線をそれぞれ別々の母線に接続する。これにより、伝統的な

放射状系統を構成することができる。

以上の考え方に基づいて構築したモデル都市送電系統を用いることにより、21 世紀初頭時点における潮流計算を行うことが可能になった。それにより、極低温送電線の導入が将来の大都市送電系統において有効であるか否かの検討が、我が国の実態から大きく逸脱することなく定量的に行える。ここで構築したモデル系統は、将来の都市電力供給問題、例えば大容量電力貯蔵装置の設置問題などの運用上の検討にも利用できるものであると考えられる。

終りに、本研究は昭和 61 年度文部省科学研究費補助金エネルギー特別研究(エネルギー)(No. 61040029)および昭和 62 年度同重点領域研究 (No. 62603017)の補助を受けたこと、および計算は名古屋大学大型計算機センターで行ったことを記して感謝の意を表す。

(昭和 62 年 12 月 17 日受付)

文 献

- (1) 鬼頭・松村・加藤・早川:「極低温大容量送電線が導入された都市電力系統に関する一考察」, 電学論 B, 106, 390 (昭 61-4)
- (2) 東京電力編: 東京電力送電系統図 (昭 58)
- (3) 電気学会電力系統の過渡回復電圧調査専門委員会編:「我が国の電力系統における過渡回復電圧に関する調査報告」, 電気学会技報 (II 部), No. 190, 8 (昭 60)
- (4) 細川:「電力網の制御と情報通信」, 電学誌, 107, 425 (昭 62-5)
- (5) 朝日新聞社編: 別冊民力 エリア・都市別民力測定資料集 (昭 60)
- (6) 電気事業連合会統計委員会編: 電気事業便覧昭和 61 年版, p. 220 (昭 61) 日本電気協会
- (7) 岡本:「極低温抵抗ケーブル開発の現状」, 電学誌, 94, 62 (昭 49-5)
- (8) P. Ailleret: "Consequence Economique D'UN Ecart De La Tension Par Rapport a La Tension Optimun", CIGRE 1960, No. 416
- (9) I. Nagahama, N. Memita, S. Nagasaki N. Noda & H. Inoue: "Completion of Direct Duct Water Cooled 154kV Self-Contained Oil-Filled Cable System", IEEE Trans. Power Apparatus Syst., PAS-99, 667 (1980)
- (10) 河野:「巨大電力系統の構成に関する研究」, 東北大学 学位論文, p. 50 (昭 60)
- (11) 電気新聞 (昭和 61 年 7 月 30 日付)
- (12) 越笹・芝原・金川・中島:「最近の系統電圧無効電力運転実績について」, 昭 52 電気四学会連大 p. 51