整数計画法の適用による大規模発電機補修計画問題の解法

正 員 永 田 武 (松江高専)

正 員 佐 々 木 博 司 (広島大)

正 員 北 川 稔 (中国電力)

A Method for Solving Large-scale Maintenance Scheduling of Thermal Generating Facilities by Means of Integer Programming Approach

Takeshi Nagata, Member (Matsue College of Technology), Hiroshi Sasaki, Member (Hiroshima University), Minoru Kitagawa, Member (Chugoku Electric Power Co.)

In power systems, periodical maintenance works of generating facilities are continually needed to secure stable power supply. Planning engineers must perform this scheduling by considering both power system security and economy. The maintenance scheduling problem is a complex combinatorial optimization problem. Many approaches have been proposed to solve this problem. Though the mathematical programming method can find an optimum solution, it has not been applied to the large-scale problems because of the combination explosion.

This paper proposes a first method for the maintenance scheduling problem of the thermal generating facilities by using the Integer Programming. The ideas of this approach are followings. (1) The 0-1 variables are allocated on the available earliest periods (weeks) that the maintenance on each unit can start. (2) The maintenance contribution factor is introduced to formulate the problem. The factor is operated as increasing the security of the power system during the optimization process. (3) The whole problem is described by linear combination of two objective functions; the maximizing the security and the minimizing the economics. We can decide the appropriate scheduling by adjusting the weights of both functions in order to reflect the power system conditions. The new approach has been applied to the large-scale maintenance scheduling problem (60 units 52 periods), and the computation results show that the reliable and economic maintenance schedule is obtained in reasonable computation time.

キーワード：電源設備，定期補修計画，整数計画法，分枝限定法，補修寄与コスト

1. ま え が き

電力系統の各種機器は，事故防止と運用の安定維持の目的で一定期間毎に補修点検する必要がある。特に，火力発電設備や原子力発電設備は運転の継続により性能低下や部分的劣化を生じるために，計画的な補修を実施することが電気事業法により義務づけられている。これらの機器の補修に要する期間は一箇月程度にも及ぶため，定期補修計画が系統運用に与える影響は大きいものとなっている。特に，我が国の全発電電力量の60%程度は火力機により占められているため適切な火力発電機補修計画の策定が必要である。

このような定期補修計画の作成にあたっては，これまでに数多くの研究が実施されている。いずれも組合せ最適化問題として定式化し，各種の技法を用いて解く方法によっ

ている。これらの方法は，数理計画法の適用による方法^{(1)～(5)}と，計算機科学などの分野で近年注目されているニューロコンピューティングに代表される問題探索手法による方法^{(6)～(10)}の二つに大別される。

まず，第一の方法は電源の運転，補修に対応した0-1変数を用いて整数計画問題や混合整数計画問題として定式化し解く方法である。目的関数を最小予備率の最大化問題として分枝限定法を適用した方法⁽¹⁾，電力不足確率(LOLP)を考慮に入れた動的計画法による方法⁽²⁾，同時補修制約を取り込んだ方法⁽³⁾，増分供給信頼度を導入し収束型のアルゴリズムによる方法⁽⁴⁾，最小予備率の最大化に実数変数も導入し分枝限定法を適用した方法⁽⁵⁾などがある。

これらの手法は，最適解を求めることができるが，その大きい計算量のために中規模モデル(26発電機36期間程度)への適用に留まっている。

一方、第二の方法は大規模モデルに対して、人間の脳の仕組みを模倣したニューロコンピューティングや、遺伝的アルゴリズム、さらには生物の進化を模倣したシミュレーテッド・エボリューションなどの最適化あるいは探索の手法を用いて、従来困難とされてきた大規模な最適化問題を解こうとするものである。相互結合型のニューラルネットワークを用いて効率よく解の探索を行う方法⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁹⁾や、遺伝的アルゴリズムにシミュレーテッド・アニーリングの技法を導入して解の探索を効率的にする方法⁽⁸⁾、シミュレーテッド・エボリューション法と分枝限定法を組合せた方法⁽¹⁰⁾などが提案されている。これらの方法は、解の最適性の保証はないものの満足できる解が得られている。報告されている大規模モデルは、40発電機52期間程度を扱っている。

本論文の目的は、従来大規模問題には不適とされていた数理計画的手法に着目し、大規模な発電機補修計画問題を実用的な時間内に解く方式を確立することにある。考察する問題は、従来提案されている方式の検証規模を考慮して、60発電機52期間の大規模なものとする。本提案手法によると、この問題は0-1整数計画問題として定式化され、実用的な時間内に最適解を求めることが可能となる。

本論文の方式の特徴は以下の2点である。

(i) 整数計画問題としての定式化の際に、信頼性指標である供給予備率の均等化と、経済性指標である補修費最小化を同時に考慮していること。

(ii) 発電機を停止した場合に供給予備率の悪化にどのくらい寄与するかを表す指標として“補修寄与コスト”という新しい概念を導入し処理の高速化を図っていること。

ここで、(i) は実用のシステムには必要不可欠なものである。ここで、二つの目標は重み係数で線形結合されているので、信頼性指標と経済性指標の考慮の重みを調整することにより、各状況に即した計画の立案が可能となっている。次に、(ii) は発電機の定期補修計画を効率的にかつ高速に決定するために考案したものである。この補修寄与コストを用いることにより、発電機の定期補修計画問題は線形計画問題として定式化できるようになり比較的容易に解くことができる。

2. 提案方式の説明

<2.1> 基本的考え方 提案する発電機の定期補修計画の決定方法の基本的な考え方は、以下のとおりである。

(1) 各発電機の補修開始可能期間に0-1変数(意志決定変数)を割り当てる。

(2) 各発電機の補修開始可能期間のそれぞれに補修寄与コストを計算し与える。このコストは、着目発電機の容量が当該期間の電力余裕(最大発電可能電力-当該期間の最大負荷電力)に対する割合で定義する。すなわち、電力余裕の少ない期間における大容量発電機の補修寄与コストは大きい値をとるようにするのである。後述のように、発電機の定期補修計画問題を目的関数の最小化問題として定式

化するため、電力の余裕が少ない期間における大容量発電機の停止はこの目的関数値を大きくする方向に作用する。そして、この作用の度合いが補修寄与コストとして表されていることになる。

(3) 信頼性と経済性を同時に確保するために、二つの目的関数がある重み係数で線形結合して新たに生成した目的関数を最小化し解を求める。この重み係数を調整すれば、信頼性あるいは経済性を優先した計画の立案も可能となる。

<2.2> 補修寄与コストの説明 本提案で重要な役割を果たす補修寄与コストについて定義する。まず、以下の議論で使用する変数をまとめて示す。

(1) 変数の説明

n : 発電機数

m : 考察期間数(週)

i : 発電機インデックス ($i = 1, 2, \dots, n$)

j : 考察期間インデックス ($j = 1, 2, \dots, m$)

P_i : 発電機 i の電源容量

TP : 全発電機発電可能容量

L_j : 考察期間 j の最大負荷値

C_{ij} : 発電機 i の考察期間 j における補修寄与コスト

E_{ij} : 発電機 i の考察期間 j における補修費用

X_{ij} : 意志決定変数

$X_{ij} = 1$: 発電機 i の補修を期間 j で開始する

$X_{ij} = 0$: 開始しない

$T(i)$: 発電機 i の補修開始可能期間に対する考察期間インデックスの集合

$G(j)$: 補修可能期間 j に対する発電機インデックスの集合

$N(i)$: 発電機 i の補修に必要な補修期間数

Ω : 同時補修台数制約のある発電機対(一般に、 n 項組)の全体集合

U_k : 発電機対 k に対する同時補修可能台数

S : 補修順序制約のある発電機対の全体集合

R_j : 第 j 期間における供給予備力

z : 目的関数

図1にこれらの関係を示す概略図を示す。

(2) 補修寄与コスト

補修寄与コストは、着目しているある考察期間において、当該発電機の補修を決定する際に、信頼性の面からの選定の容易さを示す指標である。すなわち、信頼性を悪化するような場合にはこのコストが大きくなり、信頼性にあまり影響を与えない場合には小さくなるような指標が構築できればよい。このような指標として、ここでは計算の容易な次式で表されるものを補修寄与コストとして採用する。

$$C_{ij} = \frac{P_i}{TP - L_j} \quad (i = 1, 2, \dots, n; j \in T(i)) \dots\dots\dots (1)$$

図1 発電機補修計画問題のモデル

Fig. 1. The modeling of maintenance scheduling problem

3. 定期補修計画問題の定式化

<3.1> 整数計画法による定式化 ここでは発電機の定期補修計画の定式化を自然なかたちで行うために、意思決定変数（0-1変数）を導入し整数計画問題として定式化する方法を提案する。本論文では、信頼性と経済性の両面から定式化を行う。

(1) 目的関数 信頼性の面からは補修寄与コストの最小化を、経済性の面からは補修コストの最小化を目的とするため、全体としての目的関数は、 α 、 β を正の定数として、両者の線形結合で表される。

$$z = \text{minimize} \left\{ \alpha \sum_{\substack{i \in G(j), \\ j \in T(i)}} C_{ij} \cdot X_{ij} + \beta \sum_{\substack{i \in G(j), \\ j \in T(i)}} E_{ij} \cdot X_{ij} \right\} \quad (2)$$

ここで、右辺第1項は電力の供給信頼度を大きくするように作用し、第2項は経済性を向上させるためのものである。

なお、経済性評価に必要とされる費用には、補修費の他に燃料費や起動費も考えられるが、これらは発電機起動停止計画の際に改めて考慮される項目であるため、ここでは補修費のみを考慮し問題を簡略化している。

(2) 制約条件

(i) 補修開始時期制約 各発電機の補修は法規上定められた実施期間帯内で開始されなければならない。これは以下の等号制約で表される。

$$\sum_{j \in T(i)} X_{ij} = 1 \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

(ii) 供給予備力制約 考察する全期間において最低限の予備力を確保する必要がある。すなわち、次式の不等号制約となる。

$$TP - \sum_{\substack{i \in G(j), \\ j \in T(i)}} P_i \cdot X_{ij} \geq R_j \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (4)$$

(iii) 同時補修台数制約 工具や人員などの補修を実施する上での制約のために同一発電所内では同時に補修できる発電機数には限度がある。また、文献(3)で指摘されているようにこの制約を同一発電所以外の同一タイプ（ピーク、ミドル、ベース負荷対応発電機のタイプ）の発電機の組に対する制約にすれば運用コストの低減の効果も期待できる。このような制約は次式のように不等号制約で表現される。

$$\sum_{k \in \Omega} X_{ij} \leq U_k \quad (j = 1, 2, \dots, m) \quad (5)$$

(iv) 補修順序制約 これは運用上の理由で補修順序が設定されている発電機の組に対する制約である。発電機pは発電機qよりも早く補修を完了しなければならないとすると、それぞれの発電機に要する補修期間も考慮して次式の不等号制約で表現される。

$$X_{pk} + \sum_{\substack{k' \leq k - N(q), \\ k' \in T(q)}} X_{qk'} \leq 1 \quad ((p, q) \in S) \quad (6)$$

ここに k' は発電機pが期間kで補修を開始した場合に補修を完了する期間インデックスを表し、 $k' = k + N(p)$ である。図2にこの補修順序制約の作り方の概要を示す。

<3.2> 処理の流れ 前述のように本問題は全0-1計画問題として定式化される。一般に、このような離散的最適化問題は変数の離散性のためにその解法は困難である。現在における実用的な解法は、連続緩和問題の線形計画法の解法に基づく分枝限定法の適用によるものであり、本方式でもこの方法により解いている。ここで、連続緩和問題とは原問題から変数の離散条件を取り除いた問題である。このように緩和された問題は、線形計画法を用いて比較的容易に解くことができる。原問題を (P_0) 、連続緩和問題を (P_0') とすると、以下の緩和法の原理⁽¹⁾が成立する。

(緩和法の原理)

(i) (P_0') 実行可能解をもたなければ (P_0) も実行可能解を持たない。

図2 補修順序制約の説明

Fig. 2. The explanation of maintenance ordering constraints

(ii) (P_0') の最適解を X' としたとき X' が離散となれば、 X' は (P_0) の最適解である。

(iii) (P_0') の最適解を X' とし (P_0) の最適解を X^* とすると、目的関数値は

$$z(X') \leq z(X^*)$$

である。

従って、まず変数の離散条件を取り除いた連続緩和問題を線形計画法で解き、上記 (ii) により運良く変数が離散条件を満足すればそれが原問題の最適解とする。また変数の離散性が満足されないとすると、上記 (iii) により (P_0') の目的関数の最適値が (P_0) の最適値の下界値となる性質を利用して分枝限定法で解くことができる。

図3に具体的な処理の流れを示す。同図において、まず、与えられた問題に対して、変数の割当、補修寄与コストの計算および制約式の生成を行う。次に、変数の0-1条件を取り除いた緩和問題を線形計画法で解く。その結果、もし全ての変数に対して整数性が満たされたなら緩和法の原理 (ii) によりこの解を最適解として計算を終了させる。整数性が満たされない時には、分枝限定法により解を求める。分枝限定法の各繰り返しでは緩和問題の下界値とそれまでに求まった最良の解（暫定解）を用いて探索を制御する。

4. 実行結果および考察

<4.1> ケーススタディの条件 本方式を表1に示す補修対象発電機に適用する。これは、60台の発電機からなる大規模なモデルである。同表の下部には10組の同時補修台数制約（同時補修可能台数は全て1とする）と、3組の補修順序制約の対象となる発電機を示している。考察期間は1年とし、一週間を一単位とし52期間に分割して考える。各单位期間毎の最大負荷と補修費用の詳細は紙面の都合で

図3 処理の流れ

Fig.3. The processing flow

省略するが、最大負荷は図4～5でグラフ的に表示されている。補修費用は補修可能期間毎に各発電機に対して与えられるもので、その値は後ろの期間になるにつれて小さくなっている。すなわち、経済的側面からすれば補修はなるべく遅く始めるのが望ましいのである。表1より全発電機の発電可能容量は、15,200 [MW] である。この発電可能容量には他の発電設備からの発電力は計上していないが、

(4) 式のTPの値が変化するだけなので本方式の有効性を検証する際の本質的な問題ではない。供給予備力 (R_j) は、各期間毎の最大負荷需要の8%とした。

ここで行うケーススタディの目的は、実用レベルの大規模なモデルを用いて負荷条件を変えた場合に、許容できる計算量で発電機の補修計画が決定されるか否かを評価することにある。以下では、典型的な3つのケースについて説明する。

<4.2> ケーススタディの結果と考察

(1) ケース1 ケース1は、典型的な負荷パターンに対するケースである。540個の0-1変数を用いて、239本の制約式からなる問題として定式化される。信頼性と経済性に対する重み係数は、 $\alpha=1.0$ 、 $\beta=1.0$ とし両者の寄与を同一にした。表2に計算結果を示す。本例では、最小供給予備率=43%、補修費=1467単位である。

(2) ケース2 ケース2は、ケース1の期間毎の最大負荷値を一律に30%向上させ、他の条件は同一のままのケースである。本例では、最大負荷値が増大したため最小供給予備率は43%から12%に減少している。補修費は1478単位である。図4にこの計画にそって補修が実施された場合の供給可能電力値と最大負荷電力値を示す。同図の白ぬきになっている部分が補修の実施されている発電機に対応するものである。

(3) ケース3 ケース3は、信頼性と経済性に対する重み係数の効果を示すケースである。ケース2の条件で、 $\alpha=10.0$ 、 $\beta=1.0$ とし信頼性を重視した計画の立案を実施したものである。この結果を図5に示す。第44期に発生していた最小の予備率（12%）は解消され、最大負荷の小さい第14期で予備率の最小値が17%になっており、期待どおりの効果が現われていることがわかる。逆に、補修費は1517単位と増大している。このように信頼性と経済性に対する重み係数を調整すれば、各種の事情を考慮した計画の立案も可能である。

(4) 実行時間と動作環境 このケーススタディは、EWS（東芝AS4080(SPARC station10)）を用いて行った。表3に各ケースの計算時間と連続緩和問題および分枝限定法における計算量を示す。20分程度で最適解が求まっており、この程度の計画問題としては十分実用的な時間であると考えられる。

幾つかの数値実験の経験からすると、この問題の困難さは同時補修台数制約にある。この制約がなければ、本問題はいずれのケースにおいても連続緩和問題の求解のみで解の整数性が満足され、3分程度で最適解を得ることができ

表 1 補修対象発電機
Table 4. Maintenance units

No.	容量(MW)	補修開始時期	補修所要時間
1	600	1~9	6
2	600	13~21	6
3	550	26~34	6
4	550	26~34	6
5	500	39~47	6
6	500	39~47	6
7	500	1~9	6
8	400	9~17	5
9	400	9~17	5
10	460	18~26	5
11	430	24~32	5
12	380	31~39	5
13	380	32~40	5
14	400	40~48	5
15	400	1~9	5
16	350	3~11	5
17	350	3~11	5
18	350	14~22	5
19	320	19~27	5
20	320	23~31	5
21	330	26~34	5
22	300	37~46	4
23	300	40~48	4
24	220	1~9	4
25	220	10~18	4
26	220	12~20	4
27	270	21~29	4
28	270	21~29	4
29	200	30~38	4
30	200	34~42	4
31	240	41~49	5
32	240	41~49	4
33	240	1~9	4
34	200	6~14	4
35	200	8~16	4
36	180	18~26	3
37	170	24~32	3
38	170	24~32	3
39	160	34~42	3
40	150	36~44	3
41	150	40~48	5
42	150	1~9	4
43	120	2~10	4
44	120	9~17	4
45	120	12~20	4
46	120	18~26	3
47	140	26~34	3
48	140	26~34	3
49	100	33~41	2
50	100	36~44	2
51	100	38~46	2
52	100	43~51	2
53	80	1~9	2
54	80	5~13	2
55	80	8~16	2
56	60	8~16	2
57	60	15~23	2
58	60	19~27	2
59	50	20~28	2
60	50	27~35	2

同時補修台数制約：
(3, 4) (5, 6) (8, 9) (18, 20, 21) (25, 26) (29, 30)
(31, 32) (39, 40) (46, 47, 48) (55, 56, 57)

補修順序制約：
(11-12) (16-17) (22-23) (28-27) (35-37) (38-37)
(43-44) (50-51) (59-60)

図 4 実行結果 (ケース 2)

Fig. 4. Result of case 2

図 5 実行結果 (ケース 3)

Fig. 5. Result of case 3

る。従って、同時補修台数制約を作成する場合にヒューリスティックに一部の変数を固定し高速化を図ることも可能である。すなわち、計画者が同時補修台数制約に含まれる発電機に対して発電機容量、最大負荷、および補修費用との関係考慮しながら補修を開始する 0-1 変数を強制的に“1”に固定するのである。例えば、表 1 において同時台数制約に属する容量の大きい発電機対 (3,4) に着目すると、この両者の補修開始可能期間は一致しているため、補修寄与コストと補修費の小さい X3,34 か X4,34 のいずれかを“1”にすることができる。このような方法を用いて数個の同時補修台数制約に関連する変数を固定すると、ケース 1~3 の計算時間は 7 分~10 分に減少させることができる。また、表 3 に示したように、分枝限定法による求解において各ケースで数十回のバックトラックが発生していることに注目すれば、解の絞り込みに対する改善の余地はまだあると考えられるがこれは今後の課題としたい。

表2 最適補修計画結果(ケース1)
Table 2. Optimum maintenance schedule(CASE 1)

発電機	考 察 期 間 (週)					
	1	10	20	30	40	50
1	-----##	####				
2		-----####	##			
3				-----##	##	
4				-----	-----#####	
5					-----#	#####--
6					--	-----#####
7	-----##	####				
8	--	-----##				
9	--	-----####	##			
10			-----	-----#####		
11				-----	#####	
12					-----#####	##
13					-----#	#####
14					--	-----#####--
15	-----##	####				
16	-----#	#####				
17	-----	#####				
18		-----	-----#####			
19		--	-----#####	##		
20			-----#####	##		
21			-----	-----#####		
22					-----	#####
23					--	-----#####--
24	-----##	##				
25	-	-----#####				
26		-----#####				
27			-----#	##		
28			-----#####			
29				--	-----#####	##
30					-----	-----#####
31						-----#####
32						-----#####
33	-----##	##				
34	-----	-----#####				
35	-----	-----#####				
36		-----	-----#####			
37			-----	-----	-----##	
38			-----	-----	#####	
39					-----#	##
40					-----	-----##
41					--	-----#####
42	-----##	##				
43	-----#	##				
44	--	-----#####				
45		-----#####				
46		-----	-----#####			
47			-----	-----	-----##	
48			-----	-----	#####	
49					-----	##
50					-----	-----#
51					-----	-----#####
52						-----#####
53	-----##					
54	-----	-----##				
55	-----	-----##				
56	-----	-----##				
57		-----	-----			
58			-----	-----		
59			--	-----#####		
60				-----	-----##	

-----:法定補修実施期間 ###:補修期間

表3 処理時間と計算量の比較
Table 3. Computation times and quantities at each case

項 目	ケース1	ケース2	ケース3
計 算 時 間	15分6秒	17分26秒	20分16秒
連続緩和問題ピボット演算	514	524	534
分枝限定法	部分問題数	242	171
	分枝操作数	142	95
	バックトラック数	24	43

5. あとがき

本論文では、大規模発電機補修計画問題を整数計画法で実用的な時間内に解く方法について提案した。補修寄与コストという新しい概念を導入することにより、本最適化問題の定式化が容易に行われ、信頼性と経済性を同時に満足する最適解が高速に得られることを示した。更に、本方式は信頼性と経済性に対する重み係数を調節すれば、各種の事情を考慮した計画の立案も可能である。

また、実用の発電機補修計画においては、点検の種類（本格点検（A）、簡易点検（B）、ミニ点検（C））による補修開始時期制約の違いを考慮する必要がある。基本的に多年度にわたる発電機補修計画問題を考える必要がある⁽⁸⁾⁽¹²⁾⁽¹³⁾。本方式においても点検の種類は（3）式の補修開始可能時期制約を種別に対応して拡張すれば考慮可能である。しかし、本方式により点検の種類を考慮した多年度にわたる最適化問題を一度に探索するには計算の負担が大きすぎるために現実的でない。また、電力需要の伸び率や補修費用の上昇率等の不確定要因等のために、補修計画は毎年更新されるものであり、多年度にわたる最適化問題を求めることができたとしてもあまり意味があるとは考えにくい。従って、文献（12）等で指摘されているように、“ミニ点検を供給予備力制約を満足する解が存在しない場合に導入される点検として導入する”ような仕組みを、発電機補修計画システムの中に組み込むのが現実的な考え方であるように思われる。例えば、そのような機構を実現するために、本方式をエキスパートシステムに組み込むのも一つの方法であろう。

従来、大規模問題には不適とされてきた数値計画法的手法は、計算処理技術の向上や計算機ハードの性能向上により実用規模の問題にも供される可能性が大きくなってきているように思われる。今回提案した補修寄与コストのような考え方は、各種の最適化問題の定式化の際に利用できると考えている。本論文は、そのような最適化問題の実用的な解法に対する貢献が期待される。

（平成6年7月18日受付，平成7年1月23日再受付）

文 献

- (1) 七原：「火力・原子力の定期補修計画手法」，電気学会電力技術研資，PE-83-61（昭58）
- (2) Z. Yamayee, et al. : "A Computationally Efficient Optimal Maintenance Scheduling Method", IEEE Trans. Power Apparatus

Syst., PAS-102, 2, 330 (1983)

- (3) 金子，他：「火力ユニットの同時補修制約を考慮した整数計画法による定期補修計画」，電気学会電力技術研資，PE-88-151（昭63）
- (4) 陳・豊田：「増分供給信頼度を用いる新しい電源補修計画法の提案」，電学論B，108，5（昭63）
- (5) 佐藤・芹澤：「混合整数計画法の適用による火力・原子力電源設備の定期補修計画」，電学論B，112，1（平4）
- (6) 佐々木，他：「ニューラルネットワークによる発電機起動停止計画問題の解法」，電気学会電力技術研資，PE-90-14（平2）
- (7) 佐々木，他：「ニューラルネットワークの火力発電機補修計画問題への適用」，電気学会電力技術研資，PE-91-61（平3）
- (8) 金，他：「SAとGAの融合による火力発電機定期補修計画問題の解法」，電気学会電力技術研資，PE-93-102（平5）
- (9) 由本・安田・横山：「ニューロコンピューティングに基づく定期補修計画の一解法」，電学論B，113，5（平5）
- (10) 須藤・鈴木：「Simulated Evolution法を用いた大規模補修計画手法の開発」，電学論B，114，4（平6）
- (11) 今野・鈴木：「整数計画法と組合せ最適化」，日科技連，（昭57）
- (12) 新谷，他：「Simulated Annealingに基づく定期補修計画の決定（3）」，電気学会電力技術研資，PE-93-103（平5）
- (13) 田中・西谷・長谷川・松田：「複数年度の制約を考慮した火力発電所定期補修計画決定手法」，電気学会電力・エネルギー部門大会，論文I-13（平5）

永 田 武（正員）1954年9月28日生。1980年3月広島大学大学院博士課程前期修了。同年4月（株）東芝入社。電力系統計算機制御システムの開発に従事。1989年9月松江工業高等専門学校講師，1991年4月同助教授，現在に至る。電力系統運用の自動化に関する研究に従事。IEEE会員。

佐々木 博 司（正員）1941年3月10日生。1968年3月早稲田大学大学院博士課程修了。同年広島大学工学部講師，1980年10月第二類（電気系）助教授，1989年11月同教授，現在に至る。工学博士。主として、電力系統の過渡安定度，状態推定，最適潮流計算，エキスパートシステムの応用に関する研究に従事。IEEE，CIGRE，日本太陽エネルギー学会，情報処理学会，エネルギー・資源研究会会員。

北 川 稔（正員）1937年1月6日生。30年宇部工業高校電気科卒業。同年中国電力（株）入社。40年より同社技術研究所にて電力工学全般の研究開発に従事。現在，部長。工学博士。