

GA を用いた託送電力の受け入れ可能容量に関する研究

志村陽一*¹・青木秀憲*²・水谷芳史*²

Study of Possible Acceptance Capacity of Requested Wheeled Power Using Genetic Algorithm

by

Youichi SHIMURA, Hidenori AOKI and Yoshibumi MIZUTANI

(Received on Mar. 31, 2006 & accepted on Jun. 21, 2006)

Abstract

In this study we examine how much PPS can enter an existing transmission network within permissible limits of restriction of system operation. The possible consignment acceptance capacity and the number of operations by a genetic algorithm (GA) are examined. A flexible AC transmission system (FACTS) device controls line flow flexibly. Therefore, to maximize the total wheeled power simultaneously requested by several PPSs, we propose an algorithm for determining the optimal impedance of a TCSC (a FACTS device). The effectiveness of the proposed method is demonstrated using practical 15-bus and IEEE30-bus systems.

Keywords: Power producer and supplier(PPS), Power wheeling, Simultaneous transfer capability(STC), Optimal power flow(OPF), n-1 criterion, Flexible AC transmission system(FACTS), Thyristor-controlled series capacitor(TCSC), Genetic algorithm(GA)

1. まえがき

近年、特定規模電気事業者(PPS)による電力供給が自由化され、電力業界は厳しい競争原理の時代に突入している。このような制度改革は、託送申請を要求する多くの PPS による送電系統内への参入を容易にし、送電系統内をますます複雑化することになる。また、これからも堅調に推移するであろう電力需要の増加は、系統内の安定度の低下や線路のループ潮流を増やしことになり、系統運用上においてはこれらによる送電限界が指摘されている。そのため、これらの問題に対処するには、系統内にどれだけの託送電力を受け入れることが可能であるかを把握することは運用者側にとって重要な課題となっている。

これまでの研究では、系統内に PPS からの託送申請があった場合には、ATC(送電可能容量)と STC(同時送電可能容量)に基づいて託送の受け入れの是非についての研究例が報告されている。しかしながら、STC についてのこれまでの適用例は系統内の運用上の制約許容範囲内で、既存の送電線に PPS がどれだけ参入可能であるかを最適化手法である PSO(particle swarm optimization)を用いて送電線の任意の箇所¹⁾に n-1 基準(2 回線のうち、1 本が開放した状態)を適用し、その解析をした例¹⁾²⁾があるだけで、これに対する検討は少ないものとする。

そこで、本稿では STC に基づいて、まず任意の箇所だけでなく、系統内の全ての線路に n-1 基準を適用した場合にそれぞれ託送が可能となるソースノード(PPS が参入する母線)とシンクノード(PPS から供給を受ける負荷の母線)箇所を最適化

手法により探索し、その託送可能容量を各々算出する。次に、これまで得られた STC による託送可能容量に対して系統内の託送可能容量の増大を図るために FACTS 機器の一つであるサイリスタ制御直列コンデンサ(TCSC)³⁾⁴⁾を系統に挿入する。送電線に設置された TCSC により、線路リアクタンスの変更が可能となり、より託送申請量に対する送電ネットワークの受け入れ分が最大となるように潮流を制御することになる。本論文では系統内全ての線路に n-1 基準を適用し、送電ネットワークの受け入れ分がこれまでの STC よりも増加させることができる TCSC 設置線路を決定する問題と定義し、その解法を提案する。これにより託送受け入れ可能容量の向上を図る。いずれもこれらの解析を著者らがこれまで行ってきた制御手順を考慮した遺伝的アルゴリズム(CGA)を用いた最適化手法⁵⁾⁶⁾により計算している。提案する手法は、これまでにある STC による託送可能容量の探索だけでなく最適な TCSC 設置線路の配置箇所を探索し、これまでより効果的な託送が実現できることを検証する。そして、提案手法の効果を確認するために 15 母線系統や IEEE 30 母線系統に適用したので、その成果を報告する。

2. STC と制約条件

ATC とは、系統運用上の制約許容範囲内で、既存の送電に上乗せ可能なソースノードとシンクノード 2 地点間の最大送電可能電力を検討するものである。一方、STC とは、系統運用上の制約(需給バランス、電圧制約、線路潮流制約、発電機出力制約、n-1 基準など)の許容範囲内で、既存の送電に上乗せ可能な多地点間の最大送電可能電力を探索する方式である。

* 1 工学研究科電気工学専攻博士課程前期 2 年

* 2 工学部電気電子工学科教授

ATC は、ある PPS から託送申請があった場合 ATC による制約許容範囲に基づいて、その託送の受け入れの是非を検討し、可能ならばその最大託送可能容量を決定することになる。しかしながら、今日の制度改革による電力供給自由化は PPS の送電ネットワーク利用への参入を容易にし、複数の PPS からの託送を同時に検討しなければならないものとする。すなわち、送電ネットワーク管理者は託送申請を受け付ける時間内に、複数の PPS からの託送を同時に考慮した上でそれらの託送受け入れの是非を検討し、STC による送電網の最大送電可能電力について調査する必要がある。

図 1 は、STC に基づく概念図である。PPS が参入する母線であるソースノードが送電ネットワークにある制約条件を満足し、PPS から供給を受ける負荷側の母線であるシンクノードが同じ個数存在していることを示している。

本稿では、n-1 基準に対して STC が既存の送電ネットワークのどこにどれだけの託送電力が受け入れ可能であるかのシミュレーションを行うことになる。

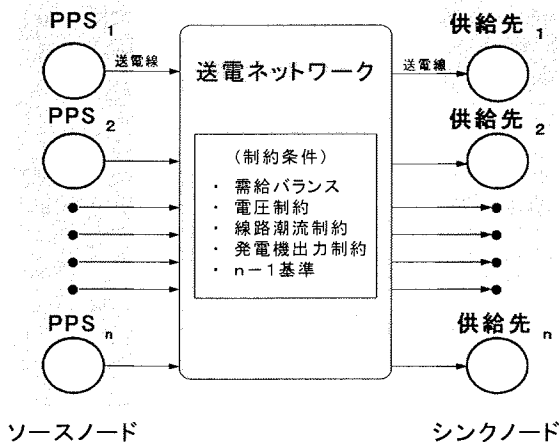


Fig.1 Power transmission network of STC

(1) 式は、複数の PPS からの託送電力の要求に対して託送電力を受け入れる地点間のペアが n 個存在し、それらの潮流総和の最大値が STC による最大送電可能電力となることを示している。

【目的関数】

$$STC_j = \sum_{i=1}^n \Delta P_{sink_i}^j \rightarrow \text{最大化} \dots \dots \dots (1)$$

取り扱う任意の事故ケース j に対して STC を算出する場合、送電ネットワークに適用される制約条件は以下ようになる。

【制約条件】

(ソースノードとシンクノードの注入・注出電力に関する制約)

$$P_{sink_i}^j = P_{0sink_i}^j - \Delta P_{sink_i}^j \quad (i=1,2,\dots,n) \dots \dots \dots (2)$$

$$Q_{sink_i}^j = Q_{0sink_i}^j - \Delta Q_{sink_i}^j \quad (i=1,2,\dots,n) \dots \dots \dots (3)$$

$$P_{source_i}^j = P_{0source_i}^j + \Delta P_{source_i}^j \quad (i=1,2,\dots,n) \dots \dots \dots (4)$$

$$Q_{source_i}^j = Q_{0source_i}^j + \Delta Q_{source_i}^j \quad (i=1,2,\dots,n) \dots \dots \dots (5)$$

$$\Delta P_{source_i}^j = \Delta P_{sink_i}^j \quad (i=1,2,\dots,n) \dots \dots \dots (6)$$

$$\Delta Q_{source_i}^j = \Delta Q_{sink_i}^j \quad (i=1,2,\dots,n) \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{\Delta Q_{sink_i}^j}{\Delta P_{sink_i}^j} = \frac{\Delta Q_{source_i}^j}{\Delta P_{source_i}^j} = \mu \quad (i=1,2,\dots,n) \dots \dots \dots (8)$$

(発電機出力制約)

$$P_g^j < P_g^j < \overline{P_g} \quad (g=1,2,\dots,G) \dots \dots \dots (9)$$

$$Q_g^j < Q_g^j < \overline{Q_g} \quad (g=1,2,\dots,G) \dots \dots \dots (10)$$

(母線電圧制約)

$$V_i \leq V_i^j \leq \overline{V_i} \quad (i=1,2,\dots,B) \dots \dots \dots (11)$$

(線路潮流制約)

$$S_{ik}^j < S_{ik}^j < \overline{S_{ik}^j} \quad (ik=1,2,\dots,L) \dots \dots \dots (12)$$

ただし、n：シンクノードとソースノードのペアの総数、 $\Delta P_{sink_i}^j, \Delta P_{source_i}^j$ ：事故ケース j での i 番目のシンクノード sink_i から注出される (ソースノード source_i に注入される) 有効電力、 $P_{sink_i}^j, P_{source_i}^j$ ：事故ケース j において i 番目のシンクノード sink_i で電力の注出 (ソースノード source_i で電力の注入) を行った後の有効電力、 $P_{0sink_i}^j, P_{0source_i}^j$ ：事故ケース j での i 番目のシンクノード sink_i (ソースノード source_i) の有効電力の初期値、 $\Delta Q_{sink_i}^j, \Delta Q_{source_i}^j, Q_{sink_i}^j, Q_{source_i}^j, Q_{0sink_i}^j, Q_{0source_i}^j$ ：前述の $\Delta P_{sink_i}^j, \Delta P_{source_i}^j, P_{sink_i}^j, P_{source_i}^j, P_{0sink_i}^j, P_{0source_i}^j$ を無効電力に対応させたもの、 μ ：注入・注出電力の比率、 P_g^j ：事故ケース j での発電機母線 g の発電機有効電力出力、 Q_g^j ：事故ケース j での発電機母線 g の発電機無効電力出力、G：発電機番号の総数、 V_i ：事故ケース j における母線 i の電圧の大きさ、B：母線番号の総数、 S_{ik}^j ：事故ケース j におけるノード i とノード k 間の線路潮流、L：送電線の総数、 $\overline{\quad}$ ：上下限值

以上の制約条件において、(2)～(5) 式は、ソースノードとシンクノードで実施される潮流総和の有効・無効電力の供給バランスを示している。また、(6)～(8) 式は、注入・注出電力の大きさと比率がそれぞれ等しいことを示している。また、PPS は正の定電力負荷として取り扱っている。

3. サイリスタ制御直列コンデンサ (TCSC)

この数十年において、電力の需要は増え続け、今後も堅調に伸びていくことが予想されている。その一方で、電力会社における送電設備の用地確保は困難になってきている。これに対処するために、連系強化や長距離送電が行われているが、安定度の低下や併行線路のループ潮流の増加により系統運用上の送電限界が指摘されている。そのため、増大する需要に対して余力をもった設備を確保することが難しくなっている。そこで、サイリスタ制御機器が直流送電などで実用化されている点などの技術的背景もあり、FACTS (Flexible AC Transmission System：フレキシブル交流送電系統) が提唱され、研究が進んでいる。FACTS 機器によって、送電電力の調整、安定度の向上、低コスト化、低ロス化などが期待されている。なお、FACTS 機器は送電電力を制御する手段として、電圧の大きさを無効電力で制御する機器 (SVC:実用化済)、電圧の移相を制御する機器、送電線のインピーダンスを制御する機器 (TCSC) などの種類が

あるが本稿では、TCSC によって送電電力を調整する。

FACTS 機器である TCSC は、交流電力系統に対して直列に挿入し、サイリスタの点弧角を適切に変動させることにより、送電線の線路インピーダンスを高速かつ連続的に制御することができる。その結果として、電力潮流を柔軟に制御することが可能となる。TCSC の基本的な構成図は、図 2 に示すようにリアクトルと逆並列サイリスタが直列接続されたものが、コンデンサと並列に接続された構造になっている。TCSC にあるサイリスタの点弧角を制御することにより、TCSC の等価インピーダンスは、誘導性にも容量性にもなり得る制御が行われる。

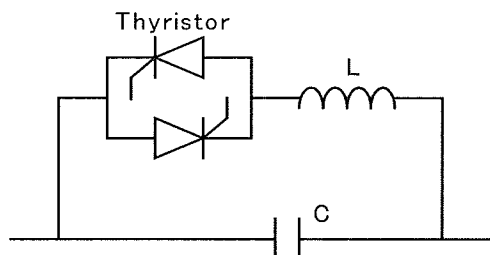


Fig.2 Fundamental structure of TCSC

電力自由化の進展に伴い、複数の PPS が電力系統に参入してくる際には、送電ネットワーク管理者は PPS からの託送電力を最大限受け入れ可能にし、さらに送電損失もできるだけ小さくなるよう検討する必要がある。そこで、本研究では電力潮流を柔軟に制御できる FACTS 機器の一つであるサイリスタ制御直列コンデンサ (TCSC) を送電系統に設置することを想定する。しかしながら、FACTS 機器のコストは決して安価とはいえず、多機能性を持たせた運用が求められているというのが現状である。また、設置場所によって安定度の向上能力や潮流制御の能力が変化するために、効果的な設置場所を選定することが必要とされている。そこで、本研究では CGA を用いて TCSC の最適配置を選定し、その効果を検討している。その際、制御する TCSC の線路インピーダンス⁷⁾ は次式によって計算されている。

$$Z_{TCSC} = \frac{1}{\omega C}(1 - \sin\beta) - \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC} \sin\beta - \frac{\omega_0 L \cos\beta}{1 - \omega^2 LC} \tan\left\{\frac{\omega_0}{\omega}(\pi - \beta)\right\} + \frac{R}{(1 - \omega^2 LC)^2} \left[\cos\left\{\frac{\omega_0}{\omega}(\pi - \beta)\right\}\right]^2 \dots (13)$$

$$Z = -|Z_{TCSC}| \dots (14)$$

ただし、 β : 点弧角、 ω : 電源角周波数、 $\omega_0 = 1/\sqrt{LC}$ 、 $C = 176.8[\mu F]$ 、 $L = 6.8[mH]$

4. GA を用いた託送可能容量の算出手法

STC に基づいて託送可能容量を算出するためには、n-1 基準の各事故ケースにおいて、運用制約条件を満足し、かつ注出電力を決定しなければならない。しかしながら、送電系統内を通過する電力をできるだけ増やすためには、発電機出力の調整が出力上下限範囲内(9),(10)式で必要になり、それに伴い(11),(12)式に示す母線電圧、線路潮流が影響を受ける。すなわち、シンクノードの注出電力の他に、発電機出力、TCSC の点弧角が本問題の制御変数となる。これらの変数を考慮した上で、n-1 基準による STC の算出問題を検討するため、本 CGA を用いて解

析している。ここで、本 CGA のフローチャートを図 3 に示す。

制御手順を考慮した本手法のアルゴリズムについて、以下の [1] から [9] の手順に基づき実施する。以下に、本手法のアルゴリズムについて、その内容を記述する。

[1] データの読込

発電機出力、送電可能容量、TCSC の点弧角の各可変範囲に存在する制御ステップ値が、16 であるとする、2 進数 4 bit で各部分遺伝子を作り、それらによって初期運転状態を表す個体を表現する。

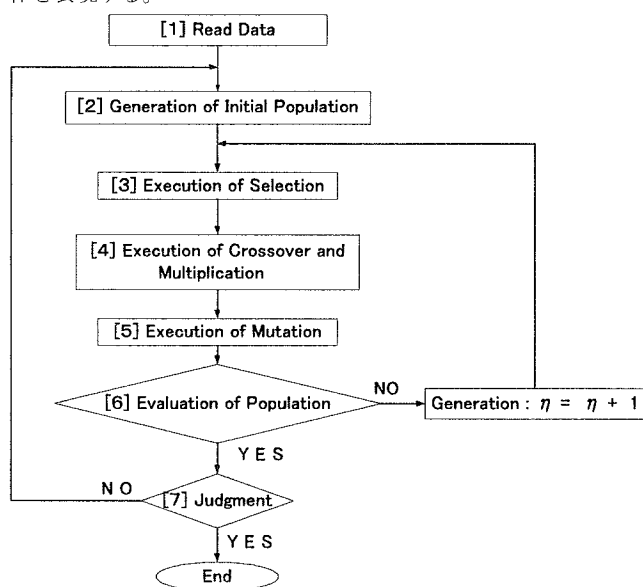


Fig.3 Flow chart of Genetic Algorithm

[2] 初期生物集団の発生

通常の運転状態にある系統において、線路の若い番号に対して n-1 基準に基づく 1 回線事故を想定する。この系統に対してまず、任意の複数の PPS から要求する託送電力とこの要求に対して託送電力を受け入れる地点 (母線) 間の n 個のペアを本 CGA により探索し、これを決定する。また、同時に TCSC の設置地点についても探索が実行され、これを決定することになる。次に、この配置結果に基づいて制御変数 (発電機出力、送電可能容量、TCSC の点弧角) であるパラメータのいずれか 1 つが本 CGA により選択される。そして、もしこの個体が運用制約条件を満足している場合には (1) 式による STC_j を計算し、これを個体として採用する。この事故ケースに対して上記と同様な操作をあらかじめ決定されている個体数だけ探索を繰り返す。これらの結果から最も STC_j の高い値をもつ個体をこの系統に対して PPS からの託送電力がより受け入れ可能となる初回の個体として選定する。この個体のもつ n 個の地点 (母線) 間のペアとそのときの TCSC の最適配置個所がこの事故ケースに適用され、以後のアルゴリズムにおいては手順 [7] で行われる事故ケースが変更するまでこれらの配置個所は固定され、計算を実行することになる。すなわち、本手順ではエリート個体からソースノード、シンクノードさらに TCSC の配置個所が決定される。これに基づいて制御変数が 1 つ変更された個体が記憶されることになる。ここで、世代 $\eta = 1$ となる。

[3] 淘汰の実行

STC_j の小さい下位 40% を淘汰する。

[4] 交叉と増殖の実行

交叉に際しては、親個体同士にある部分遺伝子1個が交叉し、そのとき制約条件が満足しているならば、個体として増殖される。また、交叉する部分遺伝子は個体のもつ STC_j の大きさによって割当てるルーレットによって構成される選択確率によって選ばれている。まず、一様乱数によって2つの親個体が選択される。次に、選択された2つの親個体に対して乱数を用いて交叉する1つの部分遺伝子を決定し、その部分遺伝子が異なっていれば対応するそれらに対し交叉を実行し、2つの子個体を作ることになる。その際、2つの子個体に対するそれぞれの STC_j を求め、制約条件を満足するとき、新たな子孫の遺伝子として、淘汰した部分に増殖させる。

[5] 突然変異の実行

突然変異で制御手順を考慮するために一点突然変異を実行し、 STC_j を求め、制約条件を満足するとき、個体として採用する。また、制約が満足しないとき突然変異は実行しない。さらに、エリート保存戦略として最も STC_j の高い個体に対し、突然変異は行わない。

[6] 生物集団の評価

この手順では、注入電力と注出電力の託送受け入れ可能容量である STC_j が評価され、世代 (η) ごとにその個体を大きい順に並べる。そして、設定した世代が終了するまで $\eta = \eta + 1$ として手順[4]へ移行することになる。終了した場合には、手順[7]に移行する。

[7] 判定

この手順では、 $n-1$ 基準に基づいて1回線事故である線路番号全ての事故ケースが終了しているかを判定している。もし、満足していなければ次の線路番号の事故ケースを検討するために手順[2]へ移行し、これまでのアルゴリズムと同様な操作を繰り返すことになる。

以上が本 CGA の基本動作となっている。なお、上記手順の[2]、[4]、[5]においては、制御手順が考慮できる手法が適用されている。詳細は、文献(2)を参照していただきたい。

5. 適用モデルとその運用条件

まず適用する15母線系統モデルは、図4に示すように6台の電力用コンデンサ(SC)、6台の負荷時タップ切換変圧器(LRT)、さらに4台の発電機からなる送電系統モデルである。この系統では、2つのPPSから託送申請があった場合についてシミュレーションを実行する。その際、提案手法では2つのTCSCが線路に挿入できることを想定する。そして、 $n-1$ 基準に基づく事故ケースが全ての線路において生じた場合について検討する。

このときの運用条件は、表1に示すように4つの発電機出力 ($P_{g1} \sim P_{g4}$)、2つのPPSから託送申請の送電可能容量 (ATC_1 、 ATC_2) さらには設置する2つのTCSCによって制御される点弧角 (TC_1 、 TC_2) の範囲を設定し、系統の運用制約条件を満足できる注入電力と注出電力の託送受け入れ可能容量である STC を計算することになる。

次に適用するモデルは、図5に示すIEEE30母線系統である。この系統には11台のLRTと9台の発電機がある。さらに多くのブランチが接続し、太く示したノード(3,6,16,17,26,30)にはそれぞれにSCが設置されている。いずれも15母線系統と同様に各母線間は2回線経路とする。そしてこの系統では、4つのPPSから託送申請があった場合に4つのTCSCが線路に挿

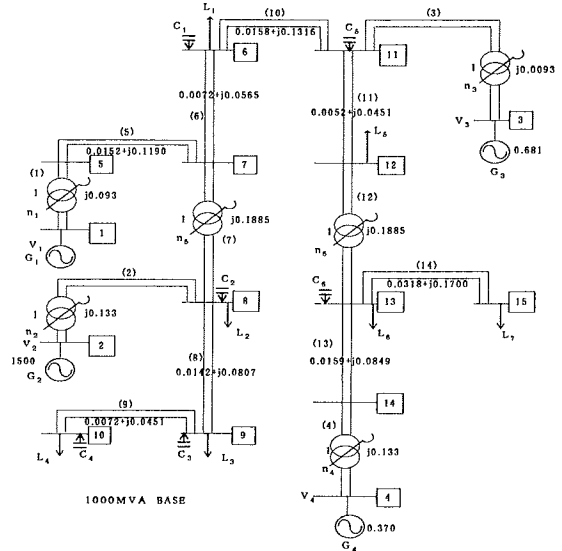


Fig.4 15-bus systems model

Table 1. Operational condition

V_i : upper and lower limit value			
V_{min1}	0.9		
V_{max1}	1.1		
Range of generator reactive power limit value			
G_1	$-0.23 \leq Q_g \leq 0.40$	G_3	$-0.27 \leq Q_g \leq 0.50$
G_2	$-0.60 \leq Q_g \leq 1.50$	G_4	$-0.15 \leq Q_g \leq 0.37$
Control variables	Initial operating status	Variable region	
P_{g1}	0	0~2.0	
P_{g2}	1.0333	0.5~1.5	
P_{g3}	0.4477	0.181~0.681	
P_{g4}	0.23	0.07~0.37	
ATC_1	0.2666	0.2666~0.5000	
ATC_2	0.2666	0.2666~0.5000	
TC_1	90	90~180	
TC_2	90	90~180	
Load		L_4	0.504+j0.302
L_1	0.520+j0.285	L_5	0.015+j0.000
L_2	0.710+j0.258	L_6	0.135+j0.042
L_3	0.719+j0.384	L_7	0.525+j0.010

Table 2. Operational condition

V_i : upper and lower limit value		V_r : upper and lower limit penalty value	
V_{min1}	0.9	V_{min2}	0.85
V_{max1}	1.1	V_{max2}	1.15
Range of generator reactive power limit value			
G_1	$1.5 \leq Q_g \leq 3.5$	G_6	$0.0 \leq Q_g \leq 2.4$
G_2	$1.5 \leq Q_g \leq 3.0$	G_7	$0.0 \leq Q_g \leq 2.5$
G_3	$0.0 \leq Q_g \leq 2.5$	G_8	$-1.5 \leq Q_g \leq 3.0$
G_4	$0.00 \leq Q_g \leq 1.67$	G_9	$-1.4 \leq Q_g \leq 4.0$
G_5	$-1.0 \leq Q_g \leq 3.0$		
Upper and lower limit penalty value of Q_g		The values shown above $\times 1.1$	
Control variables	Initial operating status	Variable region	
P_{g1}	0	0~20.0	
P_{g2}	5.1	3.5~6.5	
P_{g3}	4.92	3.32~6.32	
P_{g4}	3.68	2.08~5.08	
P_{g5}	5.1	3.5~6.5	
P_{g6}	4.2	2.6~5.6	
P_{g7}	4	2.4~5.4	
P_{g8}	6.9	5.3~8.3	
P_{g9}	2.0333	1.5~2.5	
ATC_1	0.1333	0.1333~0.2500	
ATC_2	0.1333	0.1333~0.2500	
ATC_3	0.1333	0.1333~0.2500	
ATC_4	0.1333	0.1333~0.2500	
TC_1	90	90~180	
TC_2	90	90~180	
TC_3	90	90~180	
TC_4	90	90~180	

入できることを想定し、シミュレーションを実行する。そのため、このときの運用条件は表2に示すように9つの発電機出力、4つのPPSから託送申請の送電可能容量さらに設置する4つのTCSCにある点弧角をパラメータとして15母線系統と同様に託送受け入れ可能容量となる(1)式が計算される。

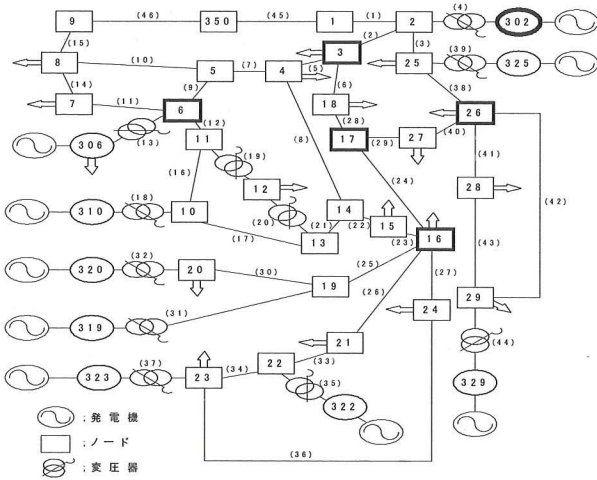


Fig.5 IEEE30-bus systems model

6. シミュレーション結果及び検討

6.1 15母線系統モデルについて

この系統では前章で述べたシミュレーション条件に基づいて本CGAにある一様乱数の初期値bを1~10まで変更し、20世代までに対する同時送電可能容量の値を求めている。その際、提案手法の有用性を確認するためにTCSC設置前、すなわちSTCによる託送可能容量(パラメータは発電機出力、PPSからの託送申請による送電可能容量である。)とこの系統内に託送可能容量の増大を図るため配置したTCSC設置後(パラメータは発電機出力、PPSからの託送申請による送電可能容量そしてTCSCによって制御される点弧角である。)に対して最終の送電可能容量に至るまでに変更したそれぞれのパラメータの操作回数についても検討している。図6、図7はそれぞれの事故ケースに対してTCSC設置前、TCSC設置後に得られた同時送電可能容量と操作回数の平均値を示したものである。

図6によると、全ての事故ケース(n-1基準)においてTCSC設置前と設置後を比較すると、設置後の方が既存の送電系統内にPPSからより多くの託送電力を受け入れ可能であることがわ

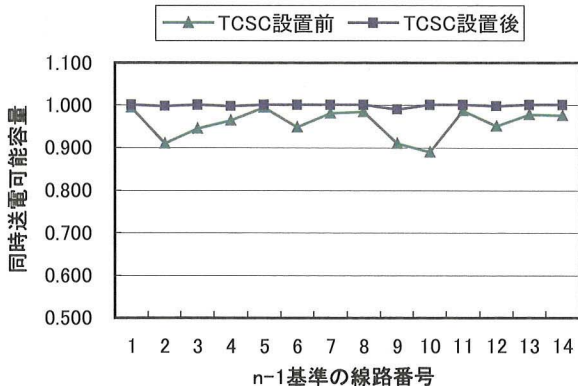


Fig.6 Mean value of STC

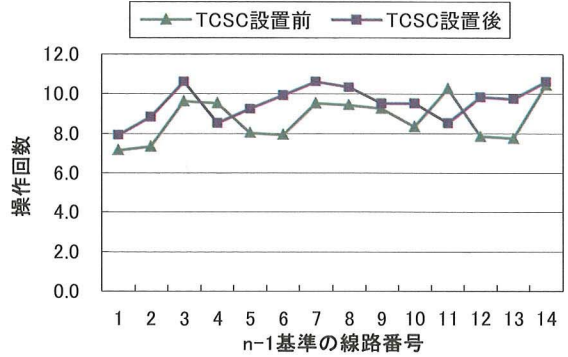


Fig.7 Mean value of operational times

かる。このことから、複数のPPSが同時に参入するSTCにおいては、TCSCを設置することによってより効果的な託送を実現できることがわかる。しかしながら、図7に示すようにほとんどのn-1基準の線路番号においてはTCSCの設置による点弧角の制御が行われ、TCSC設置前よりも設置後に多くの操作回数になっていることがわかる。ただし、TCSCにより線路インピーダンスが適切に制御された場合には、線路番号4、11に示されるように少ない操作回数でPPSからの託送電力を受け入れやすくなっていることもわかる。

Table 3. Before TCSC enters

線路番号	参入母線		供給先母線	
	1	2	1	2
1	12	13	9	7
2	12	13	9	7
3	13	7	6	11
4	15	10	13	9
5	13	7	6	11
6	13	7	6	11
7	12	13	9	7
8	13	7	6	11
9	13	7	6	11
10	13	7	6	11
11	15	10	13	9
12	13	7	6	11
13	13	7	6	11
14	13	7	6	11

Table 4. After TCSC enters

線路番号	参入母線		供給先母線		TCSC設置地点	
	1	2	1	2	1	2
1	11	13	6	7	10	14
2	11	13	6	7	10	14
3	11	13	6	7	10	14
4	15	13	6	7	10	14
5	15	7	10	13	7	5
6	11	13	6	7	10	14
7	11	13	6	7	10	14
8	11	13	6	7	10	14
9	15	7	10	13	7	5
10	14	10	15	6	8	4
11	11	13	6	7	10	14
12	11	13	6	7	10	14
13	11	13	6	7	10	14
14	11	13	6	7	10	14

表3、表4は初期値b=1においてTCSC設置前と設置後に各事故ケースの線路番号に対して本CGAによって探索された最適なPPSの参入母線と供給先母線さらにTCSCを設置する場合の設置地点を示している。この系統へのTCSCの設置は、比較的PPSの参入母線と供給先母線を選択しやすいことがわかる。

6.2 IEEE30母線系統モデルについて

この系統では前章で述べたシミュレーション条件に基づいて本CGAにある一様乱数の初期値bを1~5まで変更した50世代までの同時送電可能容量の値を求めている。前節と同様な検討を実施し、図8、図9はそれぞれの事故ケースに対してTCSC設置前、TCSC設置後に得られた同時送電可能容量と操作回数の平均値を示したものである。

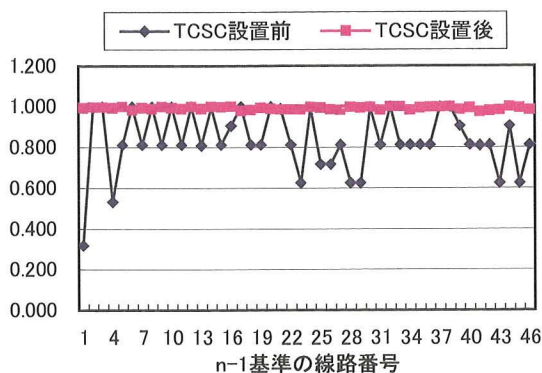


Fig.8 Mean value of STC

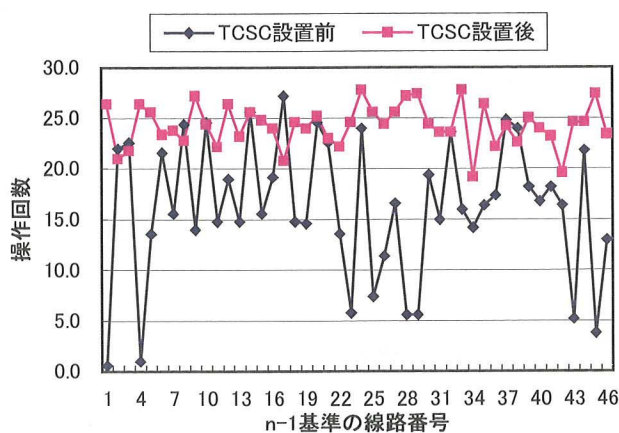


Fig.9 Mean value of operational times

Table 5. After TCSC enters

線路番号	参入母線				供給先母線				TCSC設置地点			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	5	1	7	28	20	8	26	7	4	12	28	33
2	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
3	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
4	5	1	7	28	20	8	26	7	4	12	28	33
5	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
6	19	6	15	17	28	29	12	3	10	23	29	43
7	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
8	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
9	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
10	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
11	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
12	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
13	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
14	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
15	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
16	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
17	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
18	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
19	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
20	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
21	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
22	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
23	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
24	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
25	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
26	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
27	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
28	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
29	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
30	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
31	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
32	19	6	15	17	28	29	12	3	10	23	29	43
33	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
34	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
35	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
36	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
37	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
38	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
39	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
40	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
41	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
42	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
43	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
44	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45
45	22	25	14	13	23	9	27	9	16	22	27	39
46	21	25	13	6	16	1	26	10	13	26	30	45

図8によると多くの事故ケース (n-1 基準) において、TCSC 設置前には託送電力を受け入れることができない箇所が存在することがわかる。これに対して TCSC 設置後には、全ての事故

ケースにおいて 15 母線系統と同様に多くの託送電力を受け入れ可能であることがわかる。また、操作回数についても 15 母線系統と同様にほとんどの線路番号において TCSC 設置前よりも設置後に多くの操作回数になっているが、TCSC による線路インピーダンスの制御が適切に行われる場合には、前節と同様に少ない操作回数で PPS からの託送電力を受け入れやすくなる結果が得られた。

表5は、初期値 $b=1$ において TCSC 設置後に各事故ケースの線路番号に対して本 CGA によって探索された最適な PPS の参入母線と供給先母線さらに TCSC を設置する場合の設置地点を示している。この系統への TCSC の設置は、15 母線系統と同様に比較的 PPS の参入母線と供給先母線を選択しやすいことがわかる。

7. まとめ

本研究では、CGA を用いて n-1 基準に基づく事故ケースに対して、電圧制約、発電機出力制約等の運用制約条件を考慮した上で、STC に基づく託送受け入れ可能容量を FACTS 機器である TCSC を線路内に導入する手法を提案した。その際、このような事故に対しても PPS をどの母線に参入させ、どのような母線を供給先とすればよいかを探索している。結果として、PPS の参入母線、供給先母線を良好に探索できることを明らかにした。さらに、既存の送電系統内に対して PPS からの託送電力をより多く受け入れるためには、TCSC を系統内に設置することが有効であることを確認した。しかしながら、これを制御するために多くの操作回数を必要とするケースが増えてしまうことを明らかにした。今後はこの点を改善するために、他の最適化手法 (SA、TS など) との融合を図り、より効率的な操作を実現する予定である。

参考文献

- 1) 林 泰弘・松木純也・池田孝之:「PPS の系統参入に対する同時送電可能容量 (STC) の計算手法」, 電気学会電力・エネルギー部門大会 論文集, pp42-49 (2002)
- 2) 林 泰弘・松木純也・金井原心:「託送申請量の最大受け入れを目的とした TCSC による潮流制御への改良型 PSO の適用」, 電学論 B, Vol.123, No10, pp.1133-1141 (2003)
- 3) 松木純也・長谷川慎治・安陪 稔:「サイリスタ制御直列コンデンサの損失分を考慮した解析モデル」, 電学論 B, Vol.116-B, No10, pp.1304-1310 (1996-10)
- 4) 松木純也・池田敬一:「サイリスタ制御直列コンデンサのループ電流に関する実験と解析」, 電学論 B, Vol.117,7, No7, pp.991-998 (1997-7)
- 5) 青木秀憲・水谷芳史:「制御手順を考慮した遺伝アルゴリズムを用いる電圧無効電力制御」電学論 B Vol.119, No7, pp757~764 (1999)
- 6) 青木秀憲・水谷芳史:「系統分割と制御手順を考慮した GA による電圧無効電力制御」電学論 B Vol.122, No11, pp1145-1156 (2002)
- 7) 甲斐隆章・佐藤達則・竹内伸貴・赤木泰文:「サイリスタ制御直列コンデンサの点弧角とインピーダンスとの関係について」, 電気学会全国大会 論文集, pp6-96~6-97 (1996)