100万ボルト送電線の技術開発

上級会員 磯崎 正則*

Innovation on Energy Power Technology (12)

A Development of 1000 kV Transmission Lines

Masanori Isozaki*, Senior Member

Since land of Japan is narrow, it is advantageous to enlarge the transmission capacity per one route in terms of environmental aspect and cost performance. Therefore, technological development, such as multiple transmission line, large size conductor, multiple conductors, high strength insulator and so on, has been promoted. Especially, the adoption of 1000 kV transmission line is the final configuration of high voltage system, and it is the dream for overhead transmission line engineer. So, we intervened the engineer who engaged in the conceptual design of 1000 kV transmission line in initial stage on the development situation at that time. It is considered that the method of solving the problems is useful for present engineer.

キーワード：100万ボルト，送電線，環境，絶縁，可聴音

Keywords: UHV, transmission line, environment, insulation, audible noise

1. はじめに

架空送電線の歴史は、高電圧化と大容量化の歴史である。絶縁を空気に頼っている架空送電線では、高電圧化は回線間や腕金間の距離の増大に伴う鉄塔の大型化を招く。一方、国土の狭い日本では1ルートあたりの送電容量を大きくすることが環境面・コスト面で有利であり、鉄塔の多回線化や電線の太線化・多導体化、がいしの高強度化などの面で技術開発が行われてきた。その中でも、100万ボルト送電線（以下 UHV 送電線）の導入は、高電圧化の最終形態であり、架空送電線技術者の夢であった。ここでは、検討の初期段階に行われた概念設計に取り組んだ技術者に当時の検討状況をうかがった。当時の課題の解決方法は現在の我々の技術検討に当たっても参考になるものと思っている。

2. 100万ボルト送電線の概要

まず、日本における送電電圧の変遷を図1にまとめた。

昭和30年代初期までは6.6万ボルト送電線が主流であったが、その後、送電電圧は、15→27→50万ボルトへと順次高電圧化がはかられ、現時点での最高電圧は50万ボルトである。

図2にUHV送電線の経過地を、表1に設備概要と特徴をまとめた。柏崎刈羽原子力発電所から東山梨変電所に至

図1 送電電圧の変遷

Fig. 1. Transition of transmission voltage.

る南北ルートは南新潟幹線と西群馬幹線から構成され、山岳地を通過することから、重着氷や強風などの過酷な気象条件に基づく設計を一部行っているのが特徴である。

一方、南いわき開閉所から西群馬開閉所からに至る東西ルートは南いわき幹線と東群馬幹線から構成され、南北ルートに比べ、気象条件は緩やかであるものの、丘陵地を通過するため、人家接近箇所も多く、環境面での配慮から設計を行っているのが特徴である。

図3には、当時の検討結果から得られたUHV送電線の概念設計結果を示した。50万ボルト送電線技術を延長させた結果、鉄塔高は143mにも達しているが、現在はさまざま

* 東京電力（株）技術開発研究所
〒230-8510 横浜市鶴見区江ヶ崎町 4-1
R&D Center, Tokyo Electric Power Company
4-1, Egasakicho, Tsurumi-ku, Yokohama 230-8510

図2 UHV送電線の概要

Fig. 2. Outline of UHV transmission line.

表1 UHV送電線の概要と特徴

Table 1. Outline and feature of UHV transmission line.

線路名	線路概要	経路地と設備の特徴
西群馬幹線	区間：西群馬開閉所～東山梨変電所 亘長：138km 電線：ACSR810mm ² ×8, ACSR610mm ² ×8 鉄塔：基数 217 基 鉄塔高：平均 111m 最大 143.5m (No. 20) 鉄塔重量：平均 310t 最大 607.0t (No. 15) 径間長：平均 632m 最大 1056m (No. 202～No. 203 大蔵沢川横断) 基礎応力(圧縮)：平均 8270kN 最大 13800kN (No. 212) (引張)：平均 5890kN 最大 10800kN (No. 212)	・国立・国定公園内の経過 ・国有林内の通過亘長が長い ・じんあい汚損地域を通過 ・高標高地域における強風地域を通過 (最高標高：1948m No. 113 御座山稜線 速度圧 1960Pa)
南新潟幹線	区間：柏崎刈羽原子力発電所～西群馬開閉所 <一部 50 万ボルト設計> 亘長：111km <61km> 電線：ACSR810mm ² ×8, ACSR610mm ² ×8 <TACSR810mm ² ×4> 鉄塔：基数 201 基 <115 基> 鉄塔高：平均 107m 最大 138.5m (No. 124) 鉄塔重量：平均 234t 最大 887.0t (No. 119) 径間長：平均 549m 最大 986m (No. 165～No. 166) 基礎応力(圧縮)：平均 5590kN 最大 13000kN (No. 166) (引張)：平均 3930kN 最大 9670kN	・上信越高原国立公園内通過 ・国有林内の通過亘長が長い ・冠雪設計が必要 ・新潟・群馬県境付近の重着氷地帯を通過 ・新潟県下の豪雪地帯を通過
東群馬幹線 (西群馬開閉所～東群馬変電所) 南いわき幹線 (No. 234～東群馬変電所)	区間：南いわき幹線 No. 234～西群馬開閉所 亘長：109km 電線：LN-ACSR960mm ² ACSR810mm ² ×8, ACSR610mm ² ×8 鉄塔：基数 165 基 鉄塔高：平均 115m 最大 148.5m (No. 240) 鉄塔重量：平均 392t 最大 926.0t (No. 245) 径間長：平均 657m 最大 1062m (No. 282～No. 283 栗野川横断) 基礎応力(圧縮)：平均 8460kN 最大 18600kN (No. 245) (引張)：平均 5830kN 最大 12700kN	・南北ルートに比べ民地の通過が多い ・南北ルートに比べ人家接近箇所が多い ・栃木県平野部で、海塩による軽汚損地区 (B 地区) を通過 ・気象・荷重条件が南北ルートに比べて穏やか
南いわき幹線 (南いわき開閉所～No. 234)	区間：南いわき開閉所～南いわき幹線 No. 234 亘長：130km 電線：LN-ACSR940mm ² ×8, ACSR810mm ² ×8 鉄塔：基数 235 基 鉄塔高：平均 120m 最大 149.0m (No. 184) 鉄塔重量：平均 306t 最大 585.0t (No. 185) 径間長：平均 550m 最大 965m (No. 120～No. 121) 基礎応力(圧縮)：平均 7500kN 最大 15100kN (No. 1) (引張)：平均 5300kN 最大 12500kN	・南北ルートに比べ民地の通過が多い ・全般的に人家が多い (八溝山地を除いて、低騒音電線を全面的に使用) ・海塩汚損が B, C 地区に入り、がいの連結長が長くなる ・南北ルート、北群馬幹線と比較して地形・気象条件とも緩やか

なコンパクト化技術を開発し、120m にとどめている。鉄塔をコンパクト化するために行った技術のうち、主なものを表 2 に示した。

3. 技術検討内容

今回は東京電力(株)に在籍し、UHV 送電線の検討を行っていた安井充氏に昭和 48 年当時を振り返っていただいた。

〈3・1〉検討開始にむけて 日本で初めての 50 万ボルト房総線が運転を開始した昭和 48 年、中央電力協議会のなかに、関西電力、中部電力、電源開発、東京電力の 4 社

500kV 技術の延長
による UHV 鉄塔

図3 UHV鉄塔のコンパクト化

Fig. 3. Simplified UHV steel tower.

表2 鉄塔合理化方策

Table 2. Measures of simplified steel tower.

1. 新高張力鋼の開発 ・ $55\text{kgf/mm}^2 \rightarrow 60\text{kgf/mm}^2$
2. 節点構造の改良 ・ 節点部に偏心接合を採用し、プレートを縮小
3. 高性能酸化亜鉛避雷器の適用による開閉サージ倍率の低減 ・ 対地： $2.0\text{pu} \rightarrow 1.6\text{pu}$ ・ 相間： $3.2\text{pu} \rightarrow 2.6\text{pu}$

からなる UHV 開発推進委員会が設置され、UHV 送電線の概念設計を実施することとなりました。まずは、UHV 送電線の研究開発が日本よりも約 10 年も進んでいた海外における UHV 設備や実験成果の文献調査から検討を始めました。質問状を作って相手に投げかけましたが、うれしい事に、今までコンタクトのなかった北米、欧州の研究機関が電中研、電力 4 社の訪問調査を受け入れてくれました。UHV 送電線は電圧が倍になりますから、絶縁と環境が問題になることはわかっていましたので、特にその問題について、意見を交わしたいと思っていました。

〈3・2〉絶縁技術 IEEE に交流の汚損がいしの非直線性に関する論文が出され、大問題になりました。開閉サージの非直線性ならまだわかりますが、交流の汚損がいしの非直線性を設計に採用すると、がいし連がかなり長いものになってしまいます。その原因を究明するため、米国政府エネルギー省ボンネビル電力庁 (BPA) の霧室で行なわれた同様の実験を見聞しましたが、半日やってもフラッシュオーバーしませんでした。その原因は、霧が薄いと特性がばらつくということでした。結露しないとフラッシュオーバーは起こ

図4 コロナケージ (塩原試験場)

Fig. 4. Corona cage (SHIOBARA test area).

図5 赤城試験線

Fig. 5. AKAGI test line.

らないということです。そこで、人工汚損させたがいしを冷蔵庫に入れて、それを常温に出して、結露させてから試験を行う方法を考え出しました。こうすることによって、交流汚損がいしの耐電圧には直線性があることがわかりました。現在では、均質な霧を作り出すことができるよう霧の発生方法が格段に向上したので、このような方法はとっていないようですが、当時はそういう工夫を行ったということです。行き詰った時には、人間は活路を見出すものだと思います。

〈3・3〉可聴音対応 送電電圧に比べ、細すぎる電線を採用すると、電線から可聴領域の騒音が発生します。これを総称してオーディブルノイズと言うのですが、当時これを熱心に研究していたのはGEの技術者でした。彼らはコロナケージという金網で囲まれたかご（ケージ、図4）を作って、その中に電線を架線し、騒音を計測していました。もちろん、実規模大の試験線も持っているのですが、多種多様の電線状態の試験を試験線で行うには時間的にも研究費的にも限界があって、コロナケージでの簡略的なデータと試験線のデータとの関連から騒音の予測式を作っていました。

しかし、送電線の実際の運用状態では、軽雨という状態があります。これは霧や雨がしとしと降るような状態をしていますが、このときは周囲の雑音、つまりベースノイズが低くなっているため、騒音は特に問題になります。この状態を模擬する上でコロナケージを用いて水量を減らしていく方法では、うまく現象を表現できませんでした。というのも、風の状況によっては、雨滴は飛ばされてしまっ

図6 導体の非対称配列

Fig. 6. Arrangement of asymmetrical bundle.

の通りとなりました。

また、彼らはコロナ騒音の低減対策方法についても、検討を行っていました。その方法は、上側の素導体間隔を広げ、下側素導体の間隔を狭めるのです。こうすることにより、下側の電位傾度を低くし、騒音を低減することができます。この対策は、非対称化対策（図6）と呼ばれています。

この技術についても、まずコロナケージでデータをとってから、赤城試験線のデータと照合しました。どのデータも良く一致しました。このケージを使った軽雨という考え方を含め、海外のプロジェクトの勉強をしてきたことが非常に短時間でUHV送電線における検討の成果が出せたひとつの要因だと思います。

騒音目標値の設定も大きな課題でした。各国における目標値を参考にしましたが、もっとも厳しかった40dBという値を使うと電線構成が10導体になってしまったため、日本における50万ボルト送電線の実績を調査し、50dBを目標値としました。これは、BPAでの目標値と同じでした。これにより、導体構成は8導体となりました。

〈3・4〉若手の技術者のみなさんへ 最後に、若手の電力技術者にメッセージを送りたいと思います。まず、自分たちで開発・検討した技術が国内外で通用するか、できれば論文としてまとめ、学会に出してみることです。学会論文がないと外国からは評価してもらえないからです。次に、海外の状況をよく調査して、今後自分たちが進むべき道を探してほしいということです。一例を挙げますと、日

安徽送変電工程公司黄河大跨越項目部 HP より

図 7 中国 UHV 鉄塔

Fig. 7. UHV steel tower in China.

本より 10 年はやく超高圧送電線が運転開始した欧州の送電線で起こっている不具合は、そのうち日本でも起こるはずです。海外の研究開発者と関係を取りながら意見交換をしていくことが重要だと思います。今までに営々と築き上げられた大電力系統を大過なく維持管理していくことが送電技術者のやるべき重要な仕事になっていくと思います。また、これは技術継承にもなるはずです。

最後に、行き詰った時には、本物のあるところに行って設備を見て、担当している研究者にあって、いろいろ話をすることが重要だと思います。相手が本物かどうか見極めるためには、自分に相手を見抜く力がないとだめなのは、言うまでもありません。

4. おわりに

昭和 63 年に西群馬幹線の建設に着手して以来、11 年の時を経て、平成 11 年に南いわき幹線の建設は終了した。そして、15 年経過した日本の UHV 送電線の技術が今、中国において花開こうとしている。西の大型水力発電所の電力を直流で市街地周辺まで輸送し、変電所間の連係に 100 万ボルト交流送電線を使おうというものである。1 回線送電線プロジェクトは既に架線中であり、本年 12 月には運転開始の予定である。ここで使われている技術は基本的に日

本の技術を基盤にしたものであり、今後 2 回線送電線プロジェクトにも採用され、総延長 1000 km にものぼる大 UHV 送電線網が敷かれ、中国の発展に寄与するものと期待されている。

一方、日本の UHV 送電線は、2010 年代後半の昇圧を予定しているが、コンピュータ技術の進展に伴う検討技術の高度化など、UHV 送電線の運用維持にむけた基盤技術の整備が求められている。また、先に昇圧する中国とは運用・保守研究の面で今後さらに密な意見交換や技術交流を行っていきいたいと考えている。

(平成 20 年 8 月 18 日受付)

文 献

- (1) 関根泰次・野村喜章, 他: 特集 UHV 送電の技術開発と建設計画, オーム社, Vol.75, No.952 (1988)
- (2) M. Kawai: "Research at Project UHV on The Performance of Contaminated Insulators Part II—Application to Practical Design", IEEE PES Summer Meeting, San Francisco, Calif. (1972-7)
- (3) M. Yasui and M. Murooka: "Practical Design of AC 1000 kV Insulator Assemblies", IEEE Trans. Power Delivery PES, Vol.3, No.1 (1988-1)
- (4) 安井 充: 「UHV 送電線の絶縁設計」, 電学論 B, Vol.107, No.5, pp.244-250 (1987-5)
- (5) 安井 充: 「UHV 送電線の対コロナ雑音設計」, 電学論 B, Vol.107, No.4, pp.197-203 (1987-4)
- (6) K. Tanabe, T. Takebe, and M. Isozaki: "Reduction of Audible Noise Using Asymmetrical Bundles for 1000 kV Transmission Lines: Full-Scale Test Results of Akagi Test Line", IEEE Trans. Power Delivery, Vol.11, No.3 (1996-7)
- (7) <http://www.1000kvhd.com/>

磯崎 正 則 (上級会員) 1959 年 3 月 20 日生。1983 年 3 月東京工業大学電気電子工学専攻修士課程修了。同年 4 月東京電力(株)入社。現在技術開発研究所送変電技術グループ所属。架空送電線の建設・保守・研究開発に従事。UHV 送電線に対しては、資機材の開発、環境設計など、4 線路すべてに関わっている。