

東北電力(株)東新潟火力発電所コンバインドサイクル 発電プラントについて

～夢の熱効率50%（高位発熱量基準）への挑戦～

東北電力株式会社東新潟火力発電所所長 遠藤幸雄

東北電力株式会社は最新技術の開発あるいは導入により、少ない燃料消費量、少ない環境負荷で大規模な発電を行うことに長年取り組んできたわけだが、その一端についてお話ししたい。

当社は発電から送電、配電まで一貫して行っている。供給しているエリアは日本の本州東北部で、面積は日本全体の約20%、人口は日本全体の約10%、また産業の生産規模は2001年度実績で約42.5兆円、日本全体の約9%となっている。

東新潟火力発電所の紹介

東新潟火力発電所は当社供給エリア内の最大電力需要地である新潟県に位置し、発電設備容量合計が3,816MWで、当社最大の発電所である。当所には8ユニットがあり、このうちコンベンショナル発電プラントの4ユニットは石油からガスへ燃料転換を図ったもので、現在でも天然ガスが不足する等の緊急時は石油を焚くことが可能である。建設中を含め残りの4ユニットは次に説明するガスコンバインドサイクル発電プラントである。

コンベンショナル発電プラントとコンバインド発電プラント

まず、コンベンショナル発電プラントとコンバインド発電プラントとの違いをお話する。コンベンショナル発電プラントはボイラーで燃料を燃やし、その熱を利用して高温高圧の蒸気を発生させ、蒸気でタービンを回し、発電する。これに対し、コンバインド発電プラントは高圧に圧縮した空気中に燃料を注入・燃焼させ、急激に熱膨張させることにより、ガスタービンを回し発電する。ついで、仕事を終えたガスタービンからの高温排気の熱を利用して蒸気を発生させ、蒸気タービンを回す。つまり、コンバインドサイクル発電プラントではガスタービンと蒸気タービンの両方で発電することとなる。

大容量高効率コンバインドサイクル大型発電への挑戦

1980年代、当社は電力需要の増加に対応し発電所の増設が必要となってきた。当時はオイルショック後の時期でもあり省エネ・高効率が声高に叫ばれていた。このような

背景および最先端のものへ挑戦したいという技術者魂が相まって、電力需要の変動に対応しやすい、大気汚染物質であるSOx・ばいじん等を発生させず、クリーンである等のメリットがあるコンバインドサイクル発電方式に着目した。同発電方式に着目したのは、これらメリットに加え、燃焼温度を上げられればコンベンショナル発電プラントよりも一段高い熱効率を得ることができるとの理論的裏付けがあったことである。

このような背景のもと、大容量高効率大型コンバインドサイクル発電プラントの開発を行うことを決め、メーカーと1980年7月から共同技術開発に着手した。技術開発の主眼は前例のない高い燃焼温度1,150℃に耐えられるシステムの構築にあった。システム構築に際してはガスタービンの心臓部でもある燃焼器の燃焼振動、それに伴う共振等少なからぬ困難に直面している。直面した困難は一つ一つ克服し、3号系列は世界最初の大容量高効率大型コンバインドサイクル発電プラントとして1984年12月21日に無事営業運転を開始した。翌年の1985年にはその功績が認められ、「大容量高効率複合発電設備の開発実用化」で日本産業技術大賞、内閣総理大臣賞を受賞した。

図は営業運転開始後の3号系列の運転実績を示している。熱効率は高位発熱量基準で約44%、低位発熱量基準で約49%とそれまでの最新鋭のコンベンショナル発電プラントより約4%も高く、発電時間利用率も70%を上回る高い値を維持し、順調な運転を継続している。

共同研究の開始

3号系列の成功を契機にその後コンバインドサイクル発電プラントは急速に普及していくこととなった。図は横軸が燃焼温度、縦軸が熱効率で、燃焼温度が高いほど高い効率が得られることを示している。3号系列が営業運転を開始した4年後の1988年当時、最新鋭のコンバインドサイクル発電プラントの燃焼温度は3号系列の1,150℃級を上回る1,300℃級となっていた。

そのような中、当社は長期的視点に立ち、3号系列で培った技術をさらに発展させていくことを意図し、メーカーと次世代コンバインドサイクル発電プラントの開発を行う

共同研究に1988年5月に着手した。共同研究の最大の課題は何と云っても、燃焼温度1,300 級の時代にそれよりも200 も上回る1,500 級、熱効率50%以上を達成することである。1,500 というと、鉄の融点1,536 に近いもので、無謀とも思われたが、我々は「夢の燃焼温度1,500 の達成、夢の熱効率50%以上の達成」を合い言葉に共同研究に取り組んだ。なお、50%は高位発熱量基準であり、欧米で通常使われている低位発熱量基準では約55%となる。

共同研究における要素技術開発

目標を達成するために必要な主な要素技術開発は三点あった。耐熱動・静翼の開発、高温部品冷却技術の開発および高温低NOx燃焼器の開発である。

要素技術開発の一例として、共同研究から開発されたガスタービンの動翼がある。材料として新たな技術開発で試作された一方向凝固合金を使用し、金属材料表面はセラミックで遮熱コーティングしている。

さらに、種々の開発した要素技術を検証するために小型モデルガスタービンを作った。これを用い実用化に向けた数々の試験を繰り返している。

建設工事から営業運転開始

共同研究は1988年5月に始まり1995年3月に成功裏に終了した。その後、1996年4月にコンバインドサイクル発電プラントである4-1号系列の建設に着手している。実機の建設は初めてで、さらに世界最新技術の適用であったため、多くの課題が発生したが、試運転での課題抽出、新たな解決策の作成、小型モデルガスタービンでの試験、実機試運転への再適用を繰り返し、全てを克服することができた。

このような経緯を経て、4-1号系列は1999年7月8日に世界最高の熱効率を誇る出力805MWのコンバインドサイクル発電プラントとして営業運転を開始した。4-1号系列はその実績が認められ2000年には同種の技術開発としては初めて3号系列に引き続き2度目の日本産業技術大賞、内閣総理大臣賞を「高効率大容量ガスタービンを使用した複合発電設備」として受賞している。

運転開始後の取組み

図 は横軸に年度、縦軸に4-1号系列運転開始後の熱効率を示している。この図から明らかのように、年間を通し

てみた平均熱効率は、運転開始当初50%を若干下回る49%台にあった。また、燃焼温度も技術的には1,500 の達成はできたものの、営業運転として、より安全な運転を行うことに主眼をおき、1,450 としている。運転開始後も熱効率向上に向けた努力を継続し、空気取入れ箇所のフィルターの改善、制御方式改善等諸々の小規模改善策を実施し、2002年には年間の平均的熱効率で初めて50%を突破することができた。これで真の意味で「夢の熱効率50%」を達成できたものと喜んでいる。

コンバインドサイクル発電プラントのメリット

コンバインドサイクル発電プラントには敷地面積が少なくてすむ、起動停止が容易で電力需要の変動に対応しやすい、SOx・ばいじんを排出しないクリーンな電源である等多くのメリットがあるが、最も大きい特徴は熱効率が高いことである。図 はコンベンショナル発電プラント(ガス)とコンバインドサイクル発電プラント(3号系列、4-1号系列)を比較したものだ。コンベンショナル発電プラントと4-1号系列を比較すると、11%の熱効率差があり、これで年間190,000 tのLNG消費量の削減となる。これは人口52万人の新潟市¹の電力、約2年分を賅える量に相当する。又、熱効率が良いことは、少ない燃料量で多くの発電を行えるため地球温暖化で問題のCO₂も4-1号系列はコンベンショナル発電プラントと比べ22%も少ない排出量となっている。

図 は横軸に年度、縦軸に熱効率を取り、当社の発電ユニットの熱効率をプロットしたものである。コンベンショナル発電プラントで種々の継続的改善により、熱効率を徐々に改善してきた流れと、コンバインドサイクル発電プラントにより飛躍的に熱効率を向上させた流れがある。

当発電所では現在、4-2号系列を建設中である。4-2号系列は基本的に4-1号系列と同仕様だが、4-1号系列では実績のない1,500 の達成により、50%を大きく上回る熱効率を達成したいと思っている。

電気は社会生活に欠くことのできないインフラであり、一方で資源の有限性が明らかになると共に環境負荷低減も社会的要請として求められている。したがって、電気事業に携わるものとして安定発電の維持のみならず熱効率のさらなる向上に向け、今後とも取り組んでいきたい。

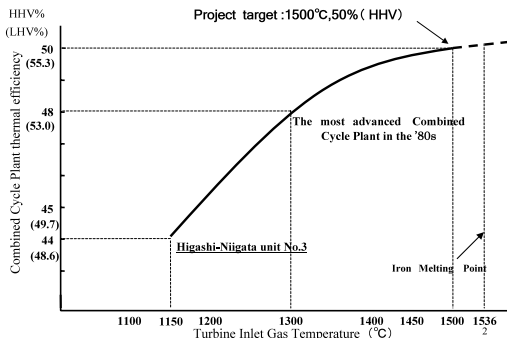
¹ 新潟市は平成17年3月21日に近隣12市町村と合併。現在の人口は773,911人(平成17年3月末)

図① Operation History of Higashi-Niigata Unit No. 3

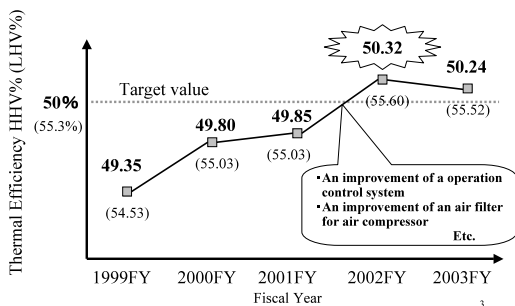
	1985	1990	1995	2000	2001	2002	2003
Operation Hours (hr)	8185	8760	8700	8681	8760	8462	8784
Plant Loss Factor (%)	1.6	1.4	1.5	1.4	1.5	1.5	1.6
Power Factor (%)	56.8	77.5	75.4	74.2	78.2	76.8	73.0
Gross Thermal Efficiency (%)	HHV	43.32	44.20	44.06	43.83	43.83	43.50
	LHV	47.52	48.62	48.46	48.21	47.77	47.85

1

図② Turbine Inlet Gas Temperature VS Combined Cycle Plant thermal efficiency



図③ Thermal efficiency History of Unit No.4-1



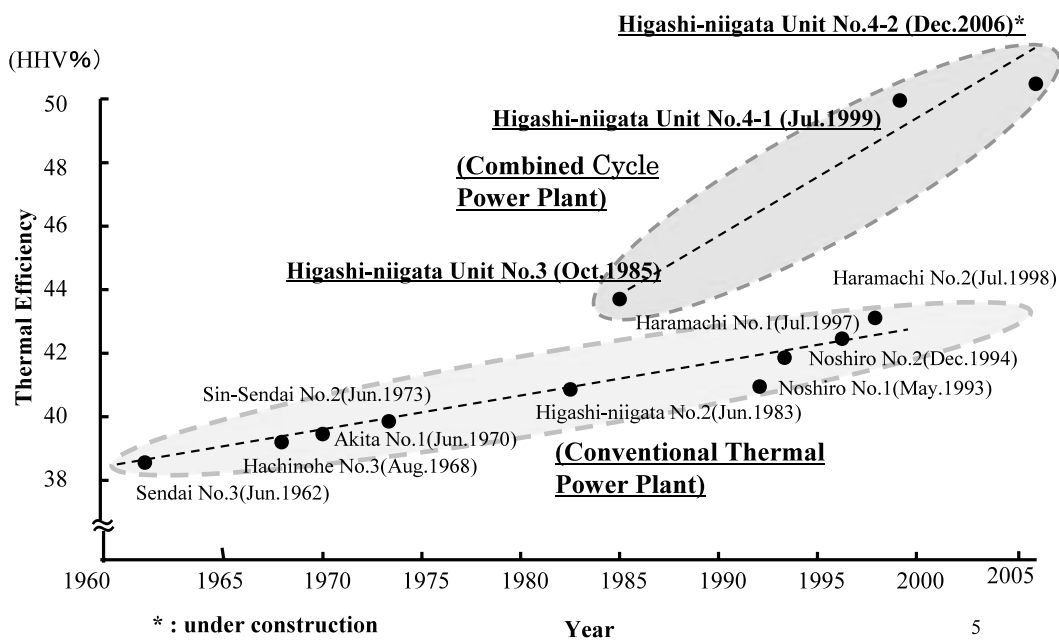
3

図④ Advantages of Improved Thermal Efficiency

	Higashi-Niigata		Conventional LNG PP	
	Unit No.4-1	Unit No.3		
Thermal Efficiency (%)	(HHV)	50	44	39
	(LHV)	55	48	43
Annual LNG Reduction (ton/year)	190,000	130,000	BASE	
Annual CO ₂ Reduction (%)	22	11	BASE	

4

図⑤ Thermal efficiency transition of our thermal power plants



5

Combined-Cycle Power Generation at Higashi-Niigata Thermal Power Station: In Search of the World's Highest Thermal Efficiency Level (Summary)

Yukio Endo

General Manager, Tohoku Electric Power Co., Inc. Higashi Niigata Thermal Power Station

Tohoku Electric Power Co., Inc. generates, transmits and supplies electricity to the northeastern (Tohoku) region of Honshu, the largest of Japan's four main islands. It supplies power to an area covering almost 20% of the total surface area of Japan and which is home to almost 10% of the total population of Japan. Tohoku Electric Power's gross output in 2001 was about ¥42.5 trillion, which accounts almost 9% of Japan's total industrial output.

Higashi Niigata Thermal Power Station (TPS) is located in Niigata Prefecture, where demand for electricity is the highest of all prefectures located within Tohoku Electric Power's supply area. Higashi Niigata TPS has a total power generation capacity of 3816 MW, making it the largest TPS in the Tohoku region. It has eight generating units, four of which are conventional thermal power plants (CTPP) that formerly used oil, but which have been converted to run on natural gas. Even now, if there was a shortage of natural gas, oil could still be used in these units. The remaining four units, which include one still under construction, are combined-cycle power plants (CCPP). CCPP is a combination of gas turbine and steam turbine power. In this method, high-temperature emissions from the gas turbine are used to generate steam, which facilitates steam turbine power generation.

In the 1980s, in the immediate aftermath of the oil crises and amid growing demand for energy conservation and greater energy efficiency, it became necessary for Tohoku Electric Power to respond to the growth in demand for power and build new power plants. Against this background, the spirit of inquiry of our engineers led them to direct their attention to CCPP, which has the advantages of being able to respond quickly to changes in power demand and not emitting pollutants such as sulfur oxides and soot. Another factor behind the decision to switch to CCPP was the fact that it achieved higher thermal efficiency by raising the combustion temperature.

In July 1980, we began a research and development project implemented in collaboration with the turbine manufacturers. The main goal was to build a system that could withstand the unprecedentedly high turbine inlet gas temperature of 1150°C. On 21st December 1984, Higashi-Niigata Thermal Power Station's Unit No.3 began to operate as the world's first combined-cycle power plant; not only was it the world's first such plant, it achieved the highest efficiency levels in the world and had greater capacity than any other power plant throughout the globe.

The following year, we were awarded the Prime Minister's Prize and the Industrial Technology Grand Prize for this achievement.

The thermal efficiency of Unit No.3 is about 44% in HHV¹ terms or about 49% in LHV² terms, which is about 4% higher than the most advanced facilities available at the time it was built. The power factor of Unit No.3 is also more than 70% and the unit is still running well.

Following our success in developing Unit No.3, the use of CCPP quickly became widespread in power stations. In 1988, four years after Unit No.3 began operating, the turbine inlet gas temperature of the most advanced CCPP rose to 1300°C, higher than Unit No.3's capacity.

Adopting a long-term perspective, Tohoku Electric Power began a joint research and development project with turbine manufacturers, focusing on second generation CCPP and applying the technology cultivated in the development of Unit No.3. The main goal was to raise the turbine inlet gas temperature to 1500°C, i.e. 200°C higher than the most advanced CCPP facilities at that time, whose capacity was 1300°C; in addition, we sought to raise thermal efficiency to 50% (equal to about 55% in LHV terms). A technical challenge was posed by the fact that the target temperature was close to the melting point of iron (1536°C).

The joint research and development project started in May 1988 and finished in March 1995, with construction of Unit No.4-1 beginning in April 1996. Unit No.4-1 began to operate on 8th July 1999: Tohoku Electric Power had once more succeeded in developing a CCPP with the world's highest thermal efficiency level and power generation capacity (805 MW). This led to our being awarded the Prime Minister's Prize and the Industrial Technology Grand Prize again the following year. Winning this award twice was an exceptional achievement. Following some small-scale improvements in 2002, Unit No.4-1's annual average thermal efficiency exceeded 50% and Unit No. 4-2 is now being built.

The thermal efficiency of Unit No.4-1 is about 11% higher than CTPP, resulting in a saving of 190,000 tons of LNG, equivalent to around two years of consumption by Niigata City (based on its pre-merger population of 570,000³). The high thermal efficiency makes it possible to generate electricity using less fuel; as a result, CO₂ emissions from Unit No.4-1 are 22% lower than those from CTPP.

¹ High Heat Value

² Low Heat Value; this is the standard in Europe and the USA.

³ A new Niigata City was born after the municipal merger with 12 neighboring municipalities on March 21, 2005. His population as of March 31, 2005 is 773,911.