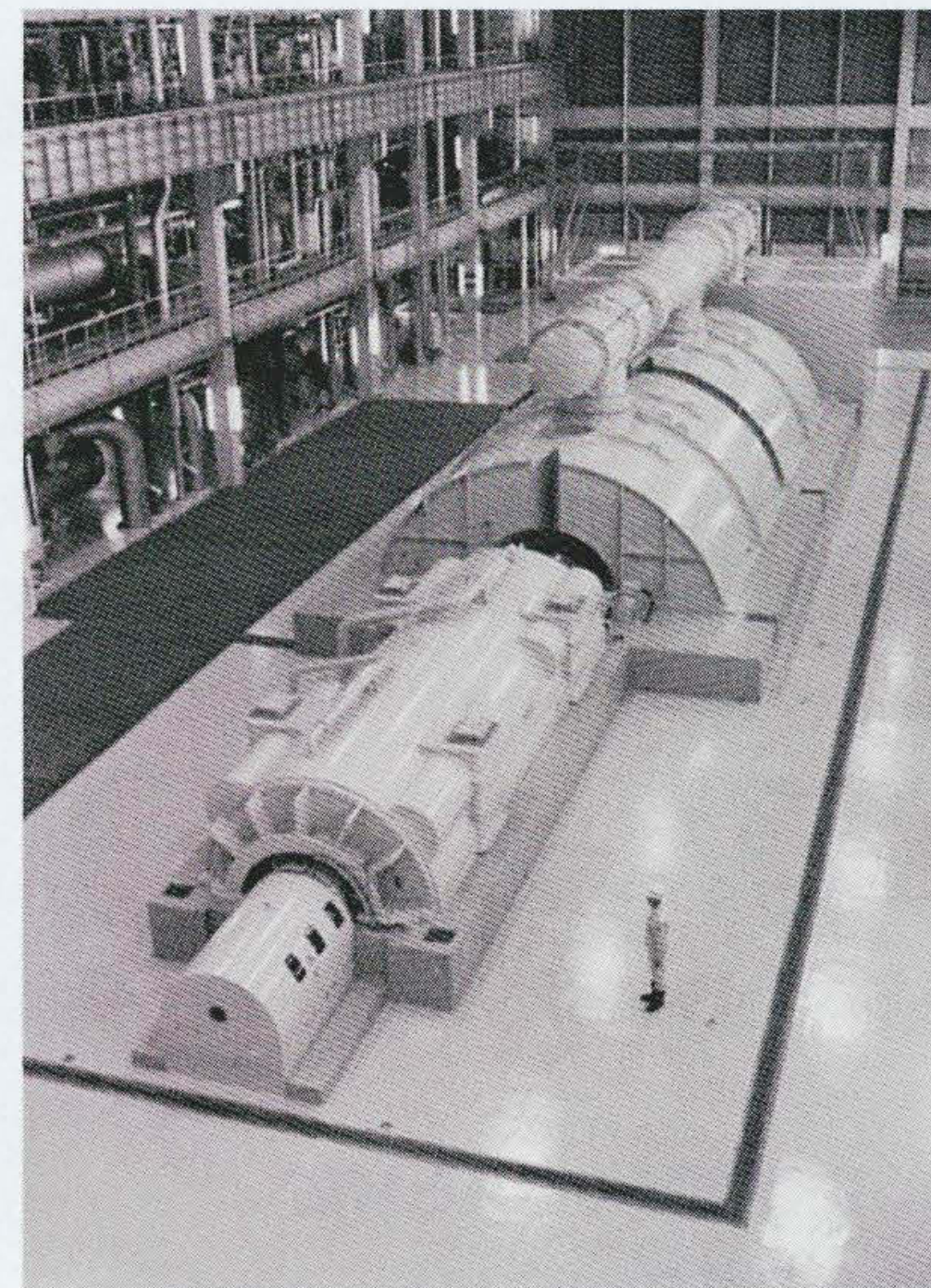
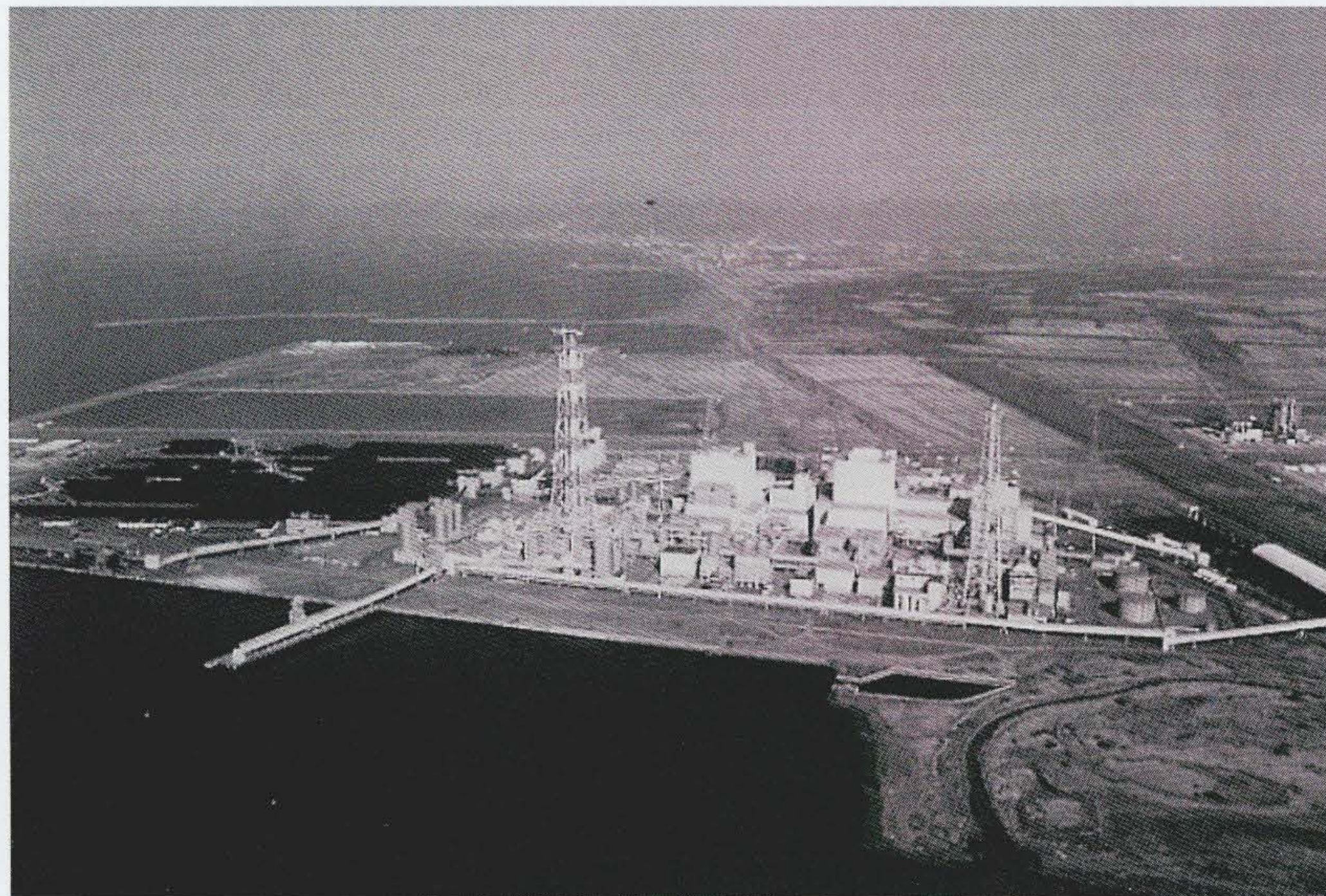


# 最新鋭高効率石炭火力発電プラントの完成

## Completion of a High-Efficiency Coal-Fired Power Plant

大倉 亮一 Ryôichi Ôkura 川里 康行 Yasuyuki Kawasato  
潮下 創 Sou Shioshita 清水 純二 Junji Shimizu



完成した北海道電力株式会社苫東厚真発電所の全景(左)と4号機700 MWタービン発電機(右)

北海道苫小牧市と厚真町にまたがる地域に位置する苫東厚真発電所は、4号機の完成により、発電所合計出力1,735 MWと北海道内最大の発電所となった。

近年、地球温暖化防止の観点から、二酸化炭素の排出を抑えるため、火力発電所の高効率化が求められている。このような流れを受けて、2002年6月、わが国最高レベルの高蒸気条件25 MPa, 600 °C/600 °Cを採用した、北海道電力株式会社苫東厚真発電所4号機700 MW石炭燃焼火力発電設備が完成した。この設備で、日立製作所は、主機となるタービン発電機設備を設計し、納入した。

この発電設備の設計にあたっては、高蒸気条件に

対応した高効率蒸気タービンの開発、流入蒸気の均一化や冷却効率を最適化した新型冷却管配列復水器の採用など、最新技術を駆使して高効率・高信頼性を図った。

また、この発電設備の運転・操作では、CRTオペレーションシステムによる操作・監視の集中化や、100型大型スクリーンによる運転情報の共有化などの採用により、中央操作室から少人数で運転できるようにした。

## 1 はじめに

地球環境問題が世界的な重要課題として注目される中で、わが国の石炭燃焼火力発電プラントでも、発電効率の向上によってCO<sub>2</sub>を削減し、環境負荷を軽減することが望まれている。

また、プラントの運転については、自動化の促進や制御装置の高度化により、起動から停止まで一貫した運転・操作を、

少人数でできることが求められてきている。

一方、発電プラントでは、発電コストと設備投資を抑制する観点から、徹底した経済性の追求がなされている。

これらのニーズにこたえるため、日立製作所は、最新の高効率技術を発電プラントに採用し、信頼性を犠牲にすることなく最適経済設計を図った発電設備を計画し、石炭火力発電プラントとしては世界最高水準のプラント効率を誇る発電プラントを完成させた。

ここでは、日立製作所が担当した、北海道電力株式会社



苫東厚真発電所納めのタービン発電プラントの概要と、試運転実績について述べる。

## 2 タービン発電機設備の概要

### 2.1 計画概要

今回納入した4号機タービンプラントの主要設備仕様を、日立製作所がタービン設備を担当した既設2号機と比較したものを表1に示す。今回納入した設備の主な特徴は以下のとおりである。

(1) 高蒸気条件の採用

タービンプラントの高効率化を目指した結果、主蒸気圧力25 MPa、主蒸気・再熱蒸気温度600℃/600℃の組合せが採用された。これにより、タービンプラント効率は先行実績プラントに比べて約2.8%（相対）向上した。

(2) システム構成

タービンプラントのヒートサイクルでは、700 MWクラス標準の実績ある構成を採用したほか、種々の設備合理化を図った。

### 2.2 主要機器の概要と特徴

#### 2.2.1 蒸気タービン

蒸気タービンでは高蒸気条件を採用し、北海道電力株式会社管内の低海水温度に合わせた新長翼の開発により、高効率・高信頼のプラントとして設計した。その特徴は以下のとおりである。

(1) 高蒸気条件に対応する新材料の採用

高蒸気条件の採用により、主要部の材料については、600℃に対応させるため、主蒸気止め弁、同加減弁、組合せ再熱弁、および主蒸気・再熱蒸気入口管に9 Cr鍛鋼を採用した。一方、高中圧ロータ、高中圧車室、ノズルボックス、および高中圧ダイヤフラムには12 Cr鋼を採用した。

表1 タービン設備の仕様比較

日立製作所が苫東厚真発電所に納入した、既設2号機（600 MW）と4号機（700 MW）のタービン設備主要仕様の比較を示す。

| 項 目  |       | 4 号 機                     | 2 号 機                     |
|------|-------|---------------------------|---------------------------|
| タービン | 出 力   | 700 MW                    | 600 MW                    |
|      | 主蒸気圧力 | 25.0 MPa                  | 24.1 MPa                  |
|      | 蒸気温度  | 600℃/600℃                 | 538℃/566℃                 |
|      | 回 転 数 | 3,000 min <sup>-1</sup>   | 3,000 min <sup>-1</sup>   |
|      | 排気真空  | −98 kPa                   | −98 kPa                   |
| 発電機  | 容 量   | 77万8,000 kVA              | 67万kVA                    |
|      | 水素圧力  | 0.41 MPa                  | 0.41 MPa                  |
|      | 周 波 数 | 50 Hz                     | 50 Hz                     |
|      | 端子電圧  | 2万3,000 V                 | 1万9,000 V                 |
|      | 力 率   | 0.90                      | 0.90                      |
| 復水器  | 冷却面積  | 3万1,000 m <sup>2</sup>    | 3万3,290 m <sup>2</sup>    |
|      | 真 空 度 | −98 kPa                   | −98 kPa                   |
|      | 冷却水温度 | 15℃                       | 15℃                       |
|      | 冷却水量  | 9万6,600 m <sup>3</sup> /h | 9万1,700 m <sup>3</sup> /h |

表2 4号機（700 MW）のタービン主要部材料

既設2号機（600 MW）との主要部材料の比較を示す。

| 項 目       |        | 主蒸気温度600℃<br>(4号機) | 主蒸気温度538℃<br>(2号機) |
|-----------|--------|--------------------|--------------------|
| 主要弁材料     |        | 9 Cr鋼              | Cr-Mo-V鋼           |
| ロータ材料     | 高中圧ロータ | 新12 Cr鋼            | Cr-Mo-V鋼           |
|           | 低圧ロータ  | Ni-Cr-Mo-V鋼        | Ni-Cr-Mo-V鋼        |
| ノズルボックス材料 |        | 12 Cr鋼             | Cr-Mo-V鋼           |
| 動翼材料      |        | 新12 Cr鋼            | Cr-Mo-Nb-V鋼        |
| 車室材料      |        | 12 Cr鋼             | Cr-Mo-V鋼           |
| タービン入口管材料 |        | 9 Cr鋼              | Cr-Mo-V鋼           |

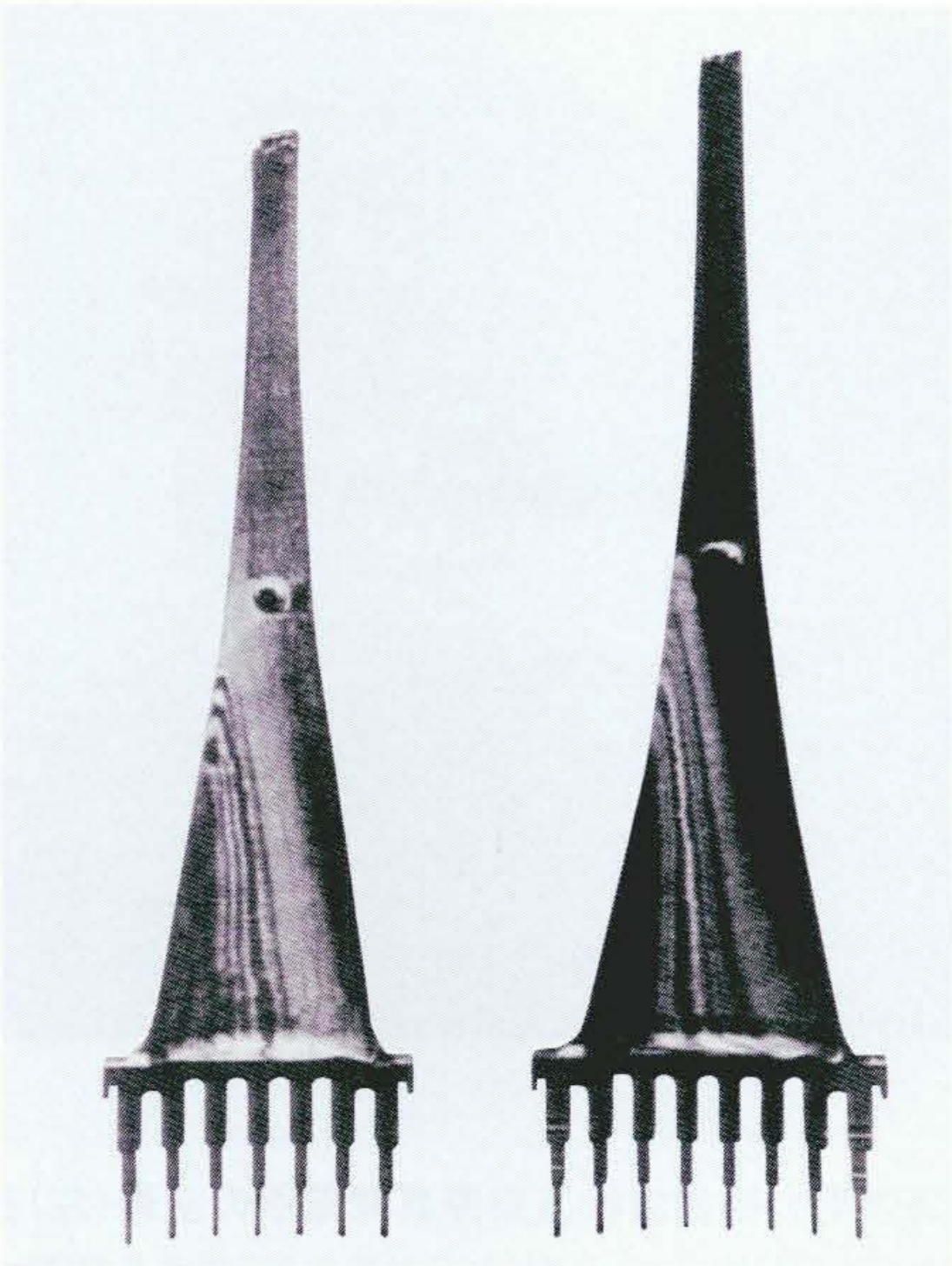


図1 50 Hz用40インチ（102 cm）長翼（左）と新開発の43インチ（109 cm）長翼（右）

新12 Cr鋼の適用により、43インチ（109 cm）という長翼化を実現した。

既設2号機とのタービン主要部材料比較を表2に示す。

(2) 43インチ（109 cm）長翼の適用

低圧最終段翼長は、先行実績600 MW機では40インチ（102 cm）長翼が最適であったが、北海道の復水器冷却水（海水）温度が低いので、タービン排気が高真空度となることなどから、このプラントでは、環帯面積の大きい43インチ（109 cm）長翼が最適となる。そのため、従来の40インチ長翼をベースに、新たに43インチ長翼を開発し、適用した。

翼の構造では、CCB（Continuous Cover Blade）と称する、インテグラル シュラウド カバーとタイボスで全周一リングとした構造を新たに開発し、翼振動に対する安定性と信頼性を確保した。

40インチ長翼と新開発の43インチ長翼を図1に示す。

(3) 軸構成の特徴

タービンの軸構成としては、蒸気条件が600℃で高中圧一体車室構造を採用し、50 Hzの700 MW機では初の3車室タンデムコンバウンドの軸構成とすることにより、機器設備の最小化を実現した。この蒸気タービン構造を図2に示す。



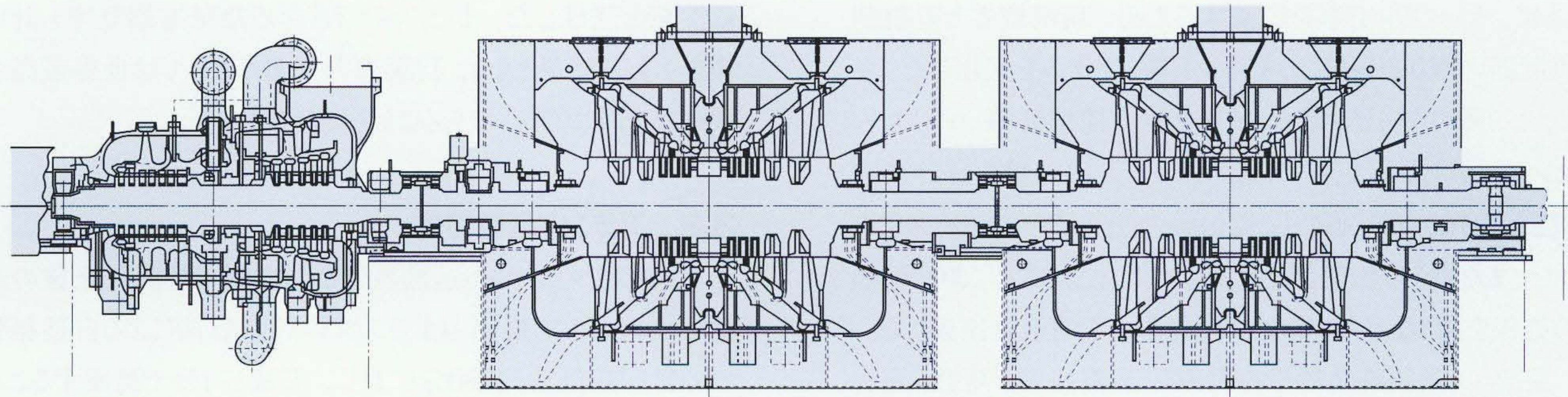


図2 蒸気タービンの構造

高中圧一体車室と、最終段に43インチ翼を適用した構造を示す。

## 2.2.2 復水器

復水器の性能を支配する要因として、多数の冷却管を配置した管束の形状と、冷却管配列がある。

日立製作所は、いっそうの性能向上に向けて、SBDF (Super-Balanced Downflow) 型冷却管配列の設計法を確立し、この有効性を実証した。これは、復水器内の蒸気凝縮流と流体力学の理論である「吸込流」との類似性に着眼して、吸込流の流線に沿った蒸気の流入量と凝縮量が比例すると想定した結果、得られたものである。

このSBDF型冷却管配列を新たな日立製作所の標準管配列として、これまで20を超える各種出力の火力発電プラントに採用してきており、苫東厚真発電所4号機でも、このSBDF型管配列を採用した。

SBDF型の管配列と「吸込流」理論による管束形状の決定概念を図3に示す。

## 2.3 プラント監視制御装置

このプラントは大容量石炭燃焼火力発電設備であり、制御

対象補機や監視情報が多いことから、監視制御システムの規模が大きくなる。そのため、監視制御システムは、ユニットの統括管理・自動化・監視を行う分散型計算機と、機能単位分散としたデジタル制御装置から成る構成とすることにより、コンパクトで監視操作性に優れたものとした。この監視制御システムの特徴は以下のとおりである。

(1) 発電所全体の統合運用を図るため、既設3ユニットを含めた4ユニットを中央操作室で集中監視、操作する方式とした。このため、中央監視操作盤は大型スクリーンを中央に配置したBTG (Boiler, Turbine, Generator) 監視盤と、CRT6台を実装したオペレータコンソール盤だけの構成とし、少人数運転を考慮した、視認性のよい集中監視、操作を実現した(図4参照)。

(2) 監視制御システムのヒューマンインタフェースでは、最新の計算機技術を駆使した高機能ヒューマンマシン機能として、視認性のよい液晶100型大型スクリーンによる4画面マルチ表示などで情報の共有化を図った。さらに、マルチウィンドウ・マルチホストに対応した高機能CRTによる全面CRTオペレーション方式とし、警報・監視・操作機能を融合することにより、ヒューマンインタフェースの向上を図った。

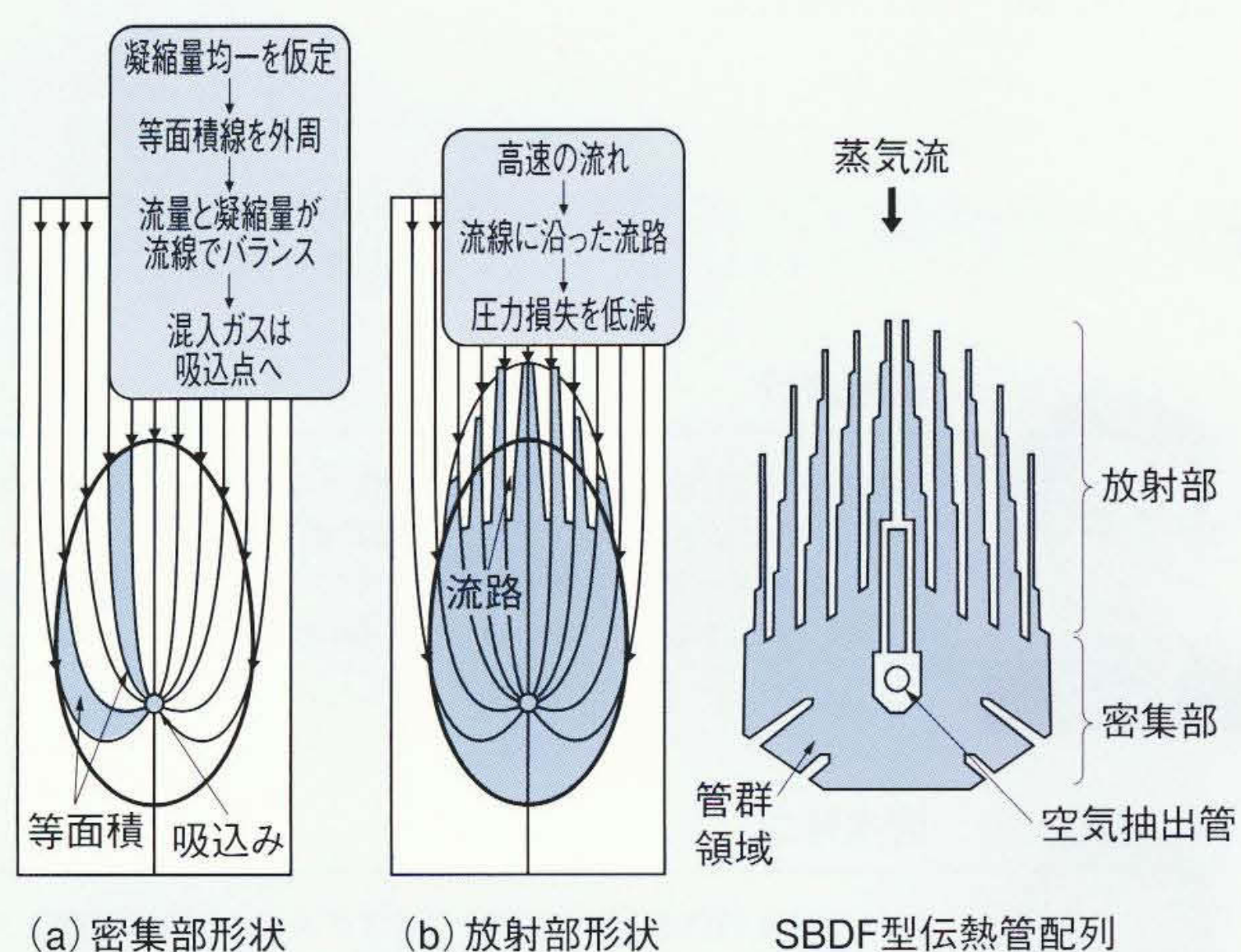


図3 「吸込流」理論による管配列決定の概念

放射部を蒸気流に対して直線的に配列し、管束外周をおおむね等面積線上に配列することを特徴としている。

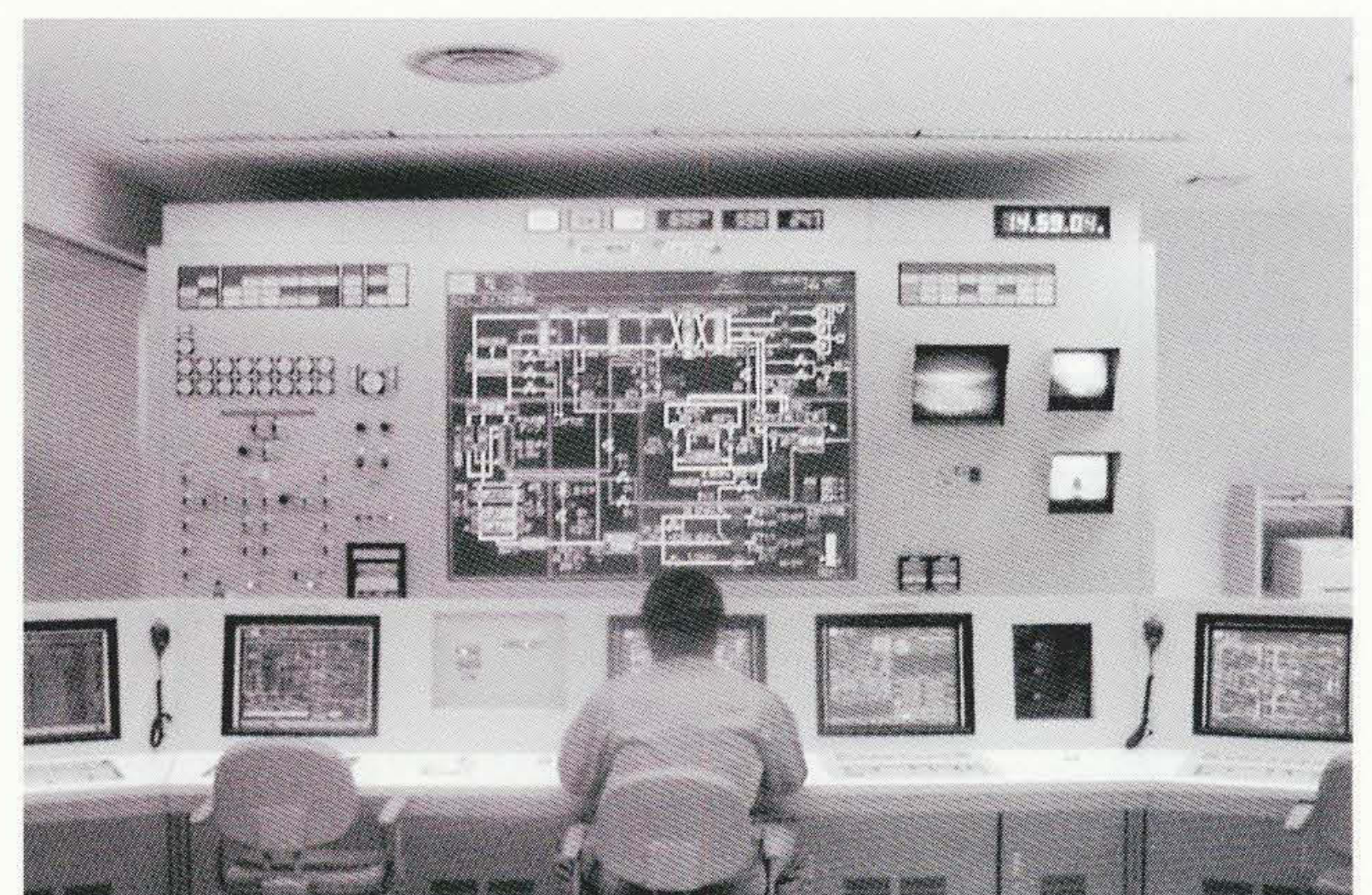


図4 苫東厚真発電所4号機の中央監視操作盤

大型スクリーンとCRTオペレーション装置の組合せにより、視認性のよいヒューマンインタフェースを実現している。



(3) 電気計装工事の合理化として、検出器の共用化を図るとともに、ケーブル工事を削減するため、現場機器と監視制御装置間の取り合いに、リモート伝送システムを適用した。さらに、1・2階のタービン室やメタルクラッド開閉装置・コントロールセンターがある電気室には、リモート入出力盤を合計15面設置し、約700点の制御・監視信号の伝送インタフェース化を図った。また、信号伝送路と電源を二重化することにより、信頼性の確保を図りながら、電気計装工事の合理化を達成した。

(4) 主タービン制御装置や自動電圧調整装置、補機シーケンス制御装置などのデジタル制御装置は、コンパクトで高機能・高速の処理機能を持つ「HIACS-7000システム」適用の機能単位分散システムとした。また、各装置間のネットワークを高速・大容量光ファイバ(100 Mビット/s、二重化)でインタフェースするとともに、ボイラ制御装置との間をゲートウェイを介したインタフェースとすることにより、応答性に優れ、プラント全体の協調がとれる構成とした。

### 3 試運転実績

このプラントでは、2001年3月に本格工事に着工し、同年10月にボイラ初点火、同年12月のタービン初通気・初併入を経て、2002年1月に定格出力700 MWに到達した。その後約5か月間にわたって各種試験を行い、発電設備の安全性・信頼性・運用性などを確認したうえで、同年6月に営業運転を開始した。

#### 3.1 プラント性能

このプラントでは、石炭火力発電設備としては最高水準の発電効率44.2%を目指して計画が進められた。日立製作所が担当するタービンプラントには上述した高効率化新技術を採用し、世界最高水準の計画熱効率49.83%を目指して検討を進めた。

これらの技術により、試運転中に行ったタービンプラント性

能試験では、定格出力700 MWで前述の計画熱効率を上回る性能を達成した。また、ボイラも含めた発電端効率も計画値を上回る結果となり、石炭火力プラントとしては世界最高水準の高効率プラントであることを実証した。

#### 3.2 プラント起動特性

試運転でのプラント起動特性としては、8時間停止後の起動で点火から定格出力まで、ユニット計算機による自動起動での計画起動時間180分に対し、実績174分で到達することができた。また、停止時間の違いによるその他の起動モードでも、それぞれ計画起動時間を満足する結果を確認した。

## 4 おわりに

ここでは、最新鋭の高効率石炭火力プラントの事例として、北海道電力株式会社苫東厚真発電所4号機タービンプラント設備の概要と運転実績について述べた。

今回適用した各種高効率化技術により、高い発電効率を得たことで、二酸化炭素排出量の抑制に貢献できることも確認できた。

日立製作所は、地球温暖化防止という潮流の中で、今後も火力発電所のいっそうの高効率化に取り組んでいく考えである。

終わりに、苫東厚真発電所4号機の計画から建設・試運転を経て完成に至るまで、北海道電力株式会社の関係各位から長期間にわたって多大なご指導とご協力をいただいた。ここに深く感謝する次第である。

#### 参考文献

- 1) 森谷, 外: 高効率石炭火力発電プラント, 日立評論, 79, 3, 255~260(1997.3)
- 2) 福本, 外: 世界最大変圧運転石炭火力プラントの完成, 日立評論, 76, 10, 687~692(1994.10)

#### 執筆者紹介



大倉 亮一

1981年日立製作所入社、電力・電機グループ 火力・水力事業部 日立生産本部 火力システム設計部 所属  
現在、火力システムのエンジニアリング業務に従事  
E-mail: ryouichi\_ookura @ pis. hitachi. co. jp



潮下 創

1993年日立製作所入社、電力・電機グループ 火力・水力事業部 日立生産本部 タービン設計部 所属  
現在、蒸気タービンの熱計画業務に従事  
E-mail: sou\_shiohita @ pis. hitachi. co. jp



川里 康行

1995年日立製作所入社、電力・電機グループ 火力・水力事業部 日立生産本部 火力プラント設計部 所属  
現在、蒸気タービン用復水器のエンジニアリング業務に従事  
E-mail: yasuyuki\_kawasato @ pis. hitachi. co. jp



清水 純二

1964年日立製作所入社、情報・通信グループ 情報制御システム事業部 発電制御システム設計部 所属  
現在、火力発電設備の制御システムの設計取りまとめに従事  
E-mail: junji\_shimizu @ pis. hitachi. co. jp