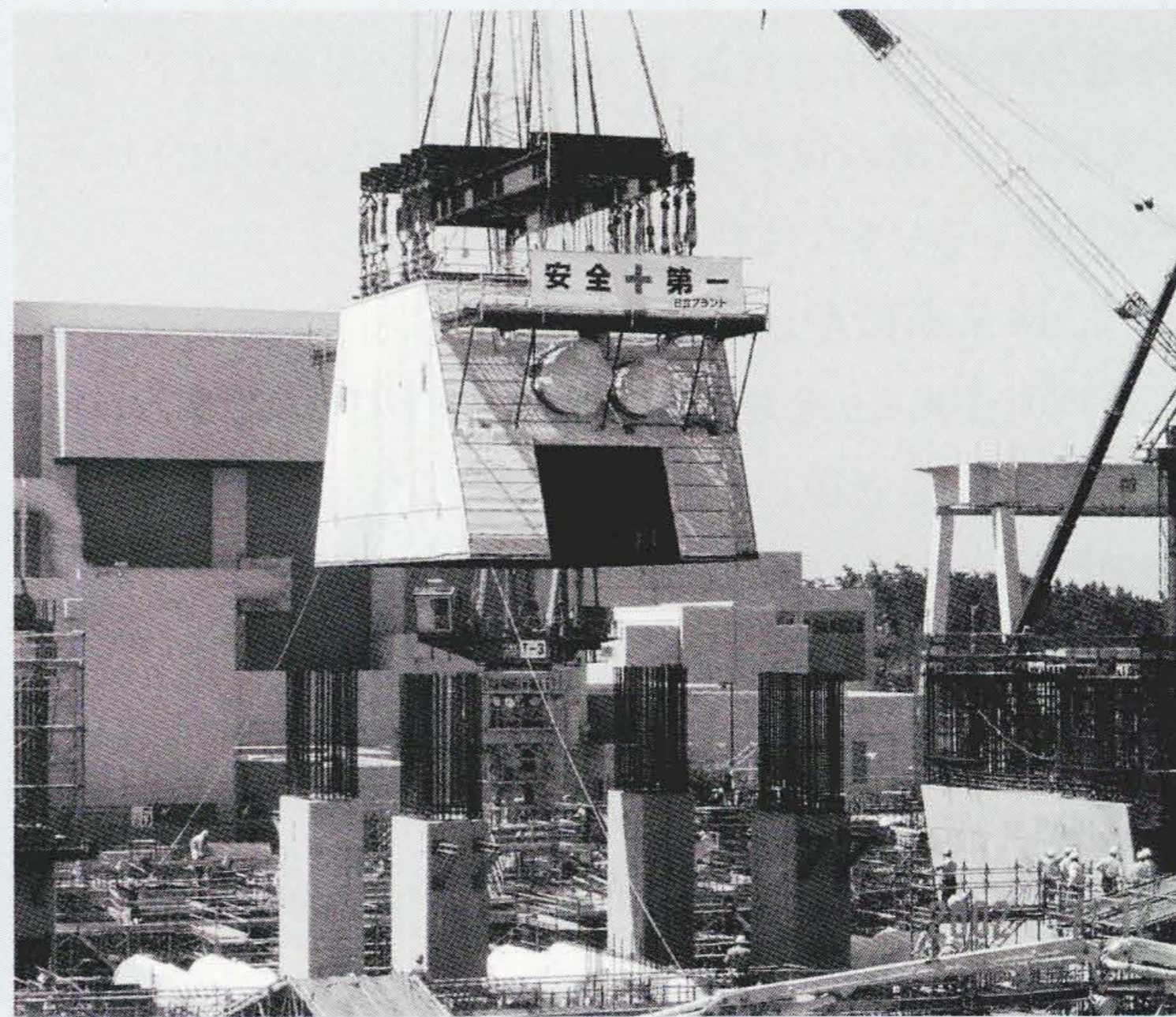
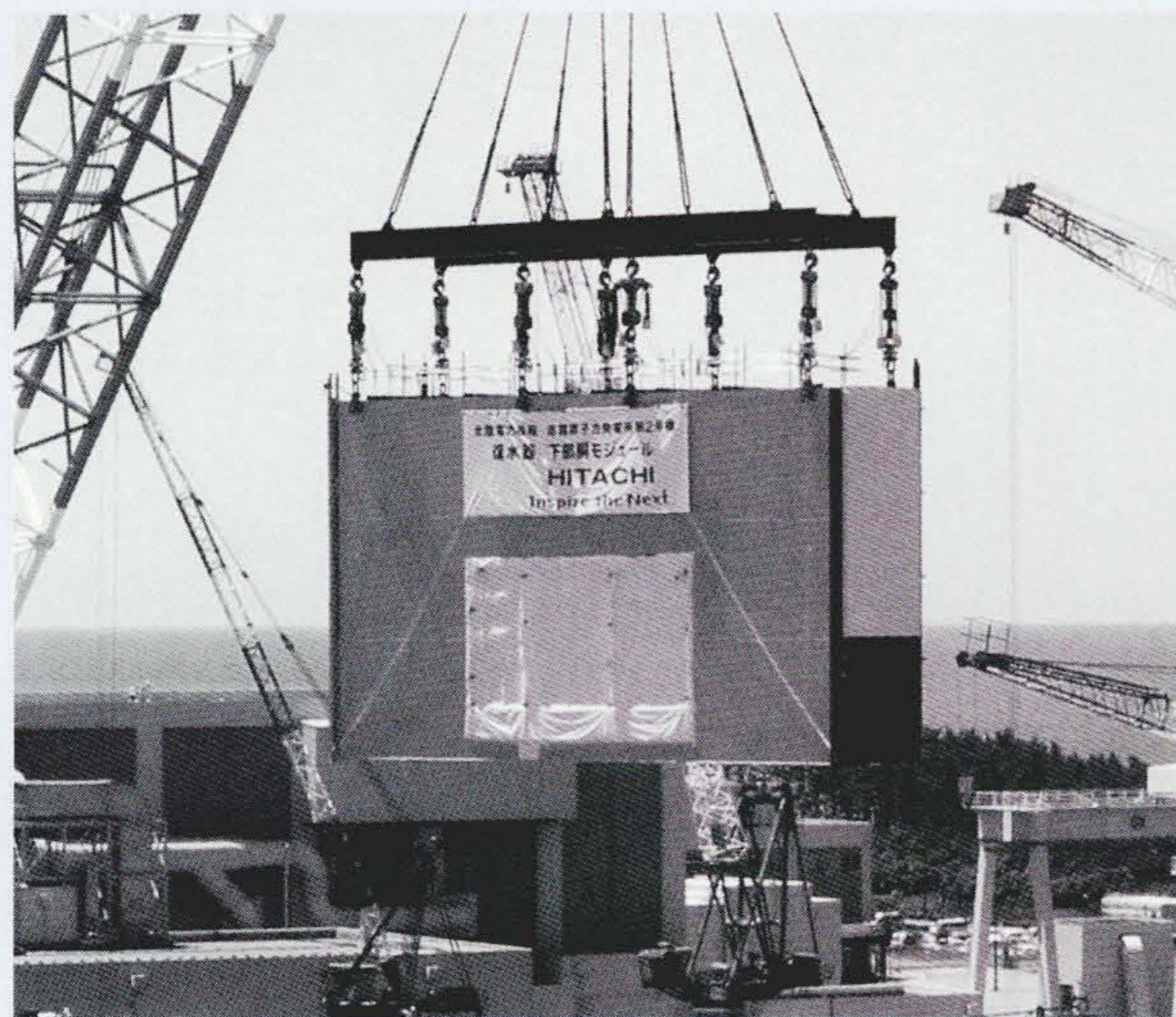


# 蒸気タービン復水器の大ブロック工法

## 北陸電力株式会社志賀原子力発電所第2号機

### Surface Condenser Erection by Large Blocks for Nuclear Steam Turbine

川里 康行 Yasuyuki Kawasato 堀部 羊春 Yôshun Horibe  
 織田 繁夫 Shigeo Oda 宮原 良平 Ryôhei Miyahara



大型移動式クローラクレーンによる、下部胴大ブロック(左)と上部胴大ブロック(右)のタービン発電機架台内つり込み状況

復水器専用工場での復水器の大ブロック化を図り、タービン発電機架台の脚柱完成時に上部から大ブロックをつり込む工法を適用することにより、復水器の据付け工程を大幅に短縮した。

電力市場では急速に規制緩和や自由化が進み、電力事業には、設備費の大幅な合理化や建設工期の短縮化などが強く求められている。

これらのニーズに的確に対応するためには、抜本的な合理化が必要である。これまで、工場設備や復水器のような重量製品を積み出す際には、さまざまな制限があった。このような制限に対応する策として、日立製

作所は、2000年9月、日立港第4埠頭に、復水器専用工場(埠頭工場)を完成させた。

この工場に常設している最大容量500 tのクレーンを利用して、この工場から大ブロック化復水器を出荷することが可能となった。これにより、北陸電力株式会社志賀原子力発電所第2号機の据付け工事期間の大幅な短縮化が図れた。

## 1 はじめに

北陸電力株式会社志賀原子力発電所第2号機〔1,358 MWe ABWR(Advanced Boiling Water Reactor:改良型沸騰水炉)〕は、1999年8月に着工し、2006年3月に運行開始の予定である。

この設備に復水器を据え付ける工程では、世界最大級の大型移動式クローラクレーン(揚重能力:30 m×930 t)を使用し、各機器の大ブロック化を図りながら建設を進めた。

原子力発電用復水器は寸法・質量が非常に大きいので、

これまで下部胴は複数のブロックに、上部胴はパネル状に、それぞれ工場分割して製作したものを現地に持ち込み、一体化を図りながら据え付けていた。

今回、北陸電力株式会社志賀原子力発電所第2号機用復水器では、下部胴は細管の溶接まで、上部胴は2基の内蔵ヒータまでを一体化した、質量270 tの大ブロック化を工場で行った。これにより、復水器の現地据付け工期を従来の工法よりも大幅に短縮することができた。

この大ブロック化工法で採用したのが、日立製作所が持つ世界最大級の大型クローラクレーンである。これを最大限に活用し、世界最大級の原子力発電プラント用復水器にお

ける、わが国では前例のない大ブロック工法による据付けを行った。

この技術は、復水器の据付け工期の短縮にとどまらず、品質の向上と現地作業の安全などにも大きく寄与している。

ここでは、北陸電力株式会社志賀原子力発電所第2号機用蒸気タービン復水器で用いた大ブロック工法について述べる。

## 2 復水器の仕様

北陸電力株式会社志賀原子力発電所第2号機(以下、志賀2号機と言う。)用の復水器はチタン製で、12基の低圧ヒータを内蔵している。主な仕様を表1に示す。

これは、冷気面積が10万2,000 m<sup>2</sup>で、細管の総延長(長さ×本数)が1,100 kmを超える世界最大級のものである。また、大ブロック化を考慮して、胴体の材質は、これまでよりも引張強度が高いSMA490 APとし、板厚の薄肉化によって軽量化を図っている。

復水器は、(1) 細管を装着した心臓部とも言える下部胴と、(2) 低圧ヒータを内蔵した上部胴、および(3) 細管へ海水を供給する水室やタービンと連結される連結胴の3胴で構成される(図1参照)。水室と連結胴は寸法・質量ともに小さく、これまでもブロック化していたが、今回は、従来の工法では細分割されていた下部胴と上部胴も大ブロック化した。

## 3 設備の仕様と大ブロック化

### 3.1 製造設備と輸送・据付け設備の仕様

これまで、ブロックの許容寸法と質量については、工場製作や積み出し、現地水切り、構内輸送、据付けなどの各段階で、設備容量という制約があった。このため、ブロック化する場合、最大質量が150 t以下に制限されていた。

今回、幅32 m×長さ240 m(7,680 m<sup>2</sup>)の復水器専用工場

表1 志賀2号機復水器の仕様

冷気面積は10万2,000 m<sup>2</sup>で、細管の総延長(長さ×本数)は1,100 kmを超える世界的な大型記録品である。

項目		仕様(3胴分)
型式		表面接触3区分式(3胴式)
冷気面積		10万2,000 m <sup>2</sup>
細管	外径	28.58 mm
	肉厚	0.5/0.7 mm
	有効長	1万7,790 mm
	本数	6万3,864本
材質	細管	チタン(JIS TTH340)
	管板	チタンクラッド鋼板 (JIS TP270+SMA490AP)
	胴体	耐候性鋼板(JIS SMA490AP)
	水室	鋼板(JIS SS400)+ゴムライニング
質量		約3,460 t(内蔵ヒータを含む。)

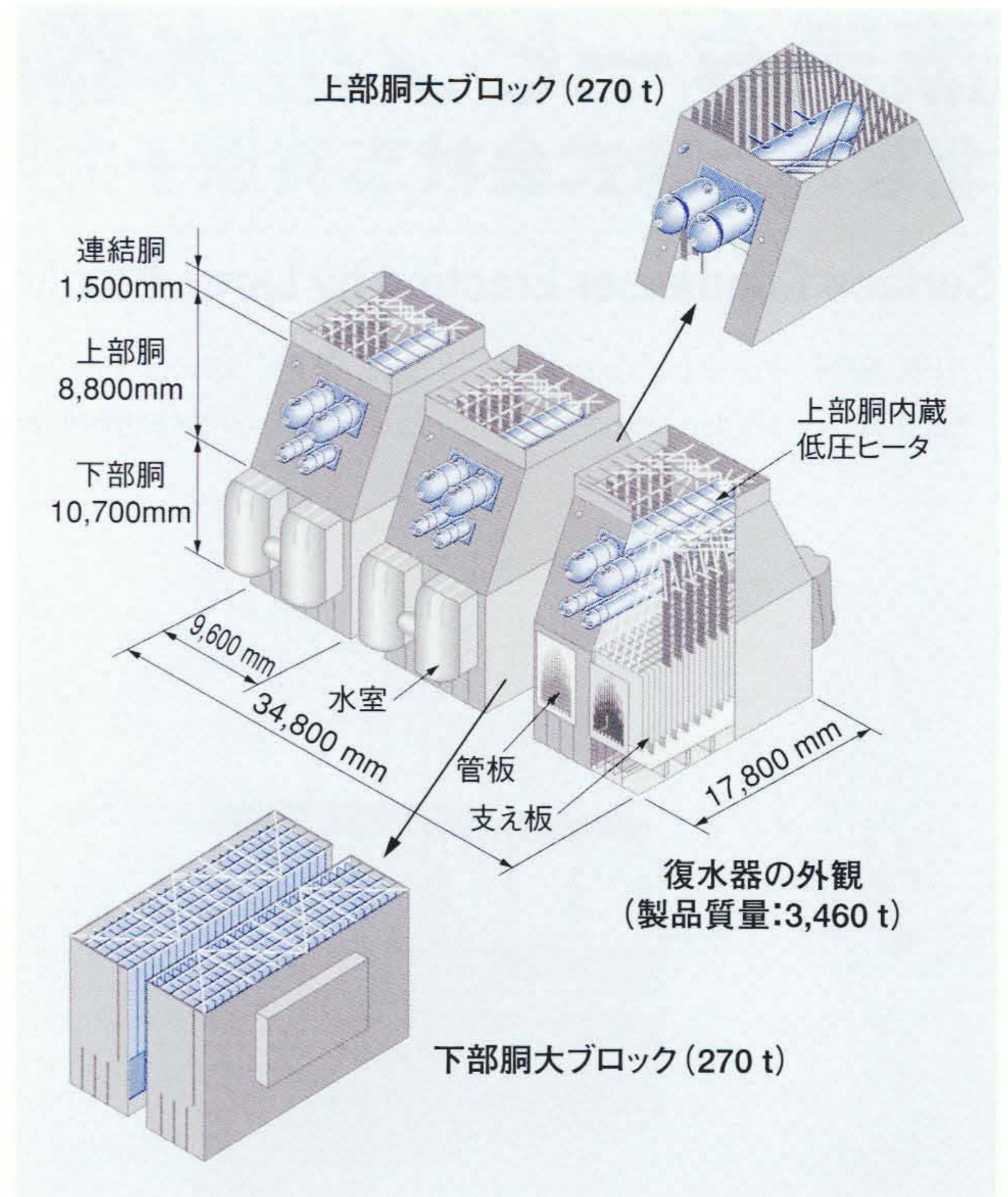


図1 復水器の外観と大ブロック化の仕組み

製品質量3,460 tの大半を占める下部胴を2分割(細管工場装着)し、上部胴には2基の内蔵ヒータを含む一体ブロックを採用した。

表2 製造と輸送・据付け設備仕様の比較

復水器専用工場を完成させ、据付けに大型クローラークレーンを、現地水切りに仮設クローラークレーンをそれぞれ使用することにより、大ブロック化を可能とした。

	従来	現状(志賀2号機)
工場製造	天井クレーン (実用上の質量制限なし。)	同左
構内輸送	ころ引き (実用上の質量制限なし。)	マルチローラ4台 最大容量: 400 t
船積み出し	フローティングクレーン 最大つり上げ: 200 t	常設クレーン 最大つり上げ: 500 t
海上輸送	内航船またはバージ船 (実用上の質量制限なし。)	同左
現地水切り	常設クレーン 最大つり上げ: 150 t	仮設クローラークレーン 最大つり上げ: 450 t
構内輸送	多軸トレーラ (実用上の質量制限なし。)	同左
据付け	大型タワークレーン 最大つり上げ: 130 t (一部大型クローラークレーンの適用)	大型クローラークレーン 上部胴据付け時許容 最大91 m×341 t

を完成させたことから、常設クレーンで最大500 tの積み出しが可能となった。さらに、据付けに大型クローラークレーンを活用することにより、経済性も含めて幾つかの制限条件が解消でき、大規模なブロック化が可能になった。製造と輸送・据付け設備仕様の比較を表2に示す。

### 3.2 大ブロック化の概要

#### 3.2.1 下部胴

下部胴を大ブロック化するには、細管を装着しないで一体化する方法と、細管を装着して2分割構造にする方法がある。

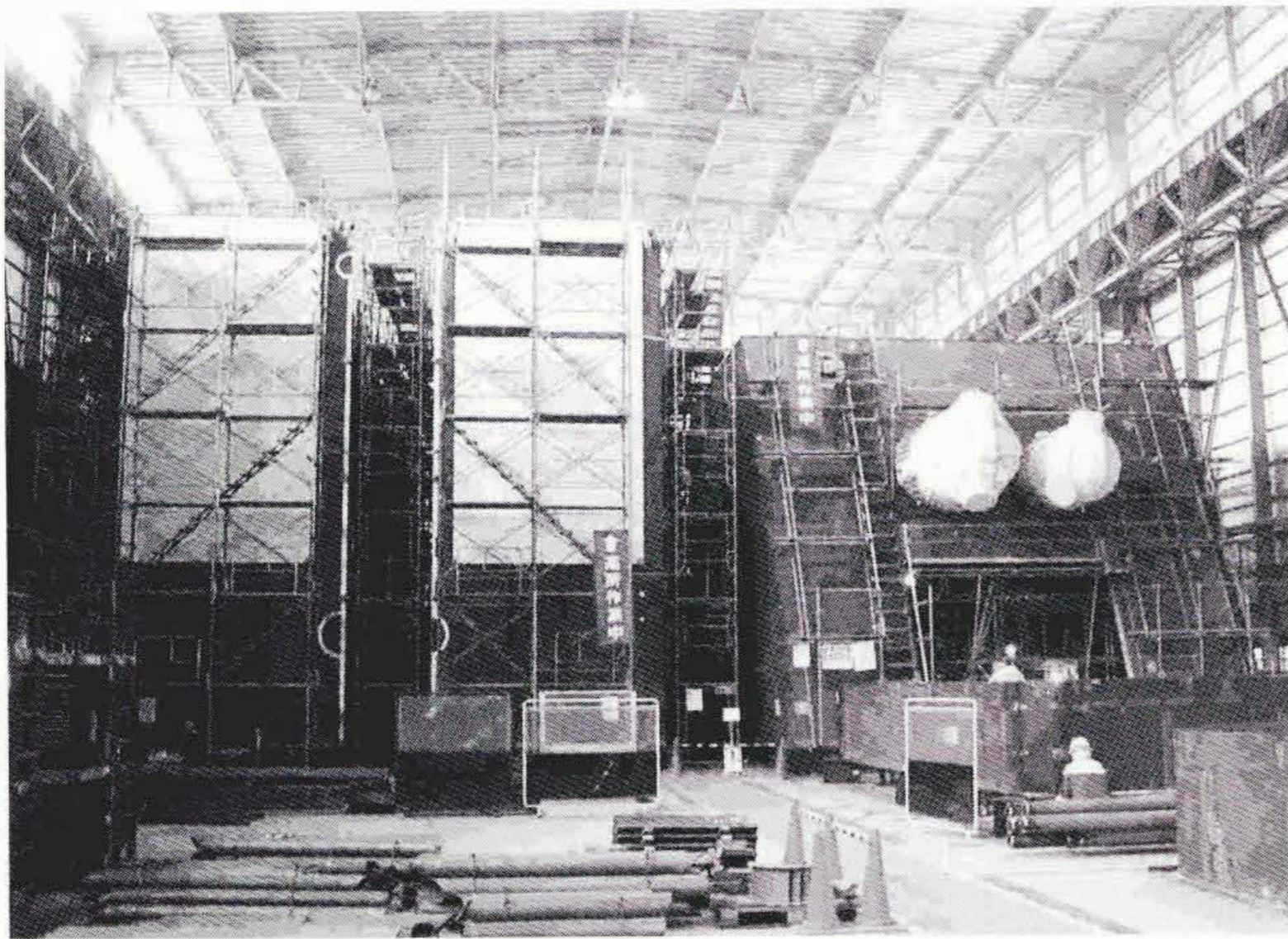


図2 工場製作中の復水器下部・上部胴大ブロック

幅32 mの工場建屋を最大限に活用し、下部胴(左)と上部胴(右)を並列に配置し、復水器3胴分合計9個の大ブロックを製作した。

前者では現地の工数が増加し、質量が据付け用大型クローラクレーンの揚重能力を超えるため、後者を採用した。

これにより、下部胴ブロック数は6個となった。このうち最大のブロックは、幅6×高さ10.9×長さ17.9(m)、製品質量270 t、つり治工具加算時の最大つり質量が約310 tとなった。また、据付け用大型クローラクレーンを配置することにより、最遠部に搬入する下部胴の最大作業半径は94 mとなった。このブロックの製品質量を250 tに抑え、全ブロックを大型クローラクレーンで据付けできるようにした。

### 3.2.2 上部胴

上部胴は4側面が板状パネルで、上面と底面が開放された台形状の箱構造である。この中に4基の内蔵ヒータが配置されている。ヒータの質量は、上部胴全体の約45%である。上段の2基は上部胴内で、下段の2基は下部胴の上部の構造体でそれぞれ支持する。

したがって、上部胴の大ブロック化では、上部胴との一体化が困難な下段の2基の内蔵ヒータを除外し、最大寸法が幅10.1×高さ9.5×長さ18.3(m)、製品質量が270 t、つり治工具加算時の最大つり質量が約330 tの一体構造を採用した。

下部胴と上部胴のブロック形状を図1に、工場での製作状況を図2にそれぞれ示す。

## 4 技術的検討内容

大ブロック化するには、海上輸送から現地つり込みまで、実際の運転状態とは異なる荷重が作用することを考慮する必要がある。このため、輸送やつり込みなどの条件別に強度の検討を行った。主な技術的検討内容について以下に述べる。

### 4.1 つり点数と荷重調整

輸送用の仮補強を増加すればつり点数を少なくすることができる。しかし、工場での補強設定や現地での撤去に多くの

手間がかかるため、必ずしも得策ではない。また、つり点数は各つり点での強度と変形量に影響を与えるので、これらの最適解を求めるため、FEM(Finite Element Method:有限要素法)で評価して決定した。

下部胴は剛性も比較的高く、荷重分布のアンバランスも少ないので、つり点数を8点とした。この場合のつり点の荷重は30~43 tとなった。一方、上部胴は、下部胴とは異なり、上部と底部が開放され、2基の内蔵ヒータの一部が上部胴の外側にオーバハングした状態で組み込まれている。荷重は左右・前後方向ともに偏心しているため、つり点数を19点とした。このうち4点は、内蔵ヒータのオーバハング部のつり点とした。実際のつり作業では、下部胴・上部胴とも専用のつりてんびんを用い、つり点ごとにチェーンブロックとつり荷重が確認できるロードセルを使用し、荷重を調整した。

これらのつり操作は、船積み、水切り、および定位置つり込み時の3回行った。いずれも同じ要領、段取りで実施した。

### 4.2 強度検討への加速度の反映

強度検討には静荷重以外に動荷重を考慮する必要があるため、強度検討用の加速度を設定した。水平方向、すなわち、構内輸送・海上輸送時のローリングとピッチングについては約 $4.9 \text{ m/s}^2$  (0.5 G)、垂直方向については約 $19.6 \text{ m/s}^2$  (2.0 G)を基に、それぞれ強度検討を行った。各ブロックの実測結果では、水平方向の最大が約 $2.94 \text{ m/s}^2$  (0.3 G)で、垂直方向の最大が約 $9.8 \text{ m/s}^2$  (1.0 G)となり、十分な余裕があった。

### 4.3 海上輸送

復水器ブロックの輸送は、その大きさから基本的に海上輸送に限定される。下部胴は1,600 t級の内航船を使用して輸送できるが、内航船での最大ハッチ幅寸法は大型船でも10 m程度しかないため、幅寸法が10 mを超える上部胴は内航船では輸送できない。そのため、3,000 t級(幅20 m×長さ60 m)のバージ船を使って輸送した。海上輸送は、下部胴大ブロックでは6船、上部胴一体大ブロックでは2船(1船当たり2上部胴, 1上部胴)の計8船で行った。また、内航船輸送では、下部胴が高くてハッチ上部を閉じた状態にはできないので、バージ船輸送の上部胴と同様に、輸送途中の雨や海水対策として防水・防炎シートを使用し、十分な対策を施した。

### 4.4 サイト水切りと構内輸送

発電所の水切り用常設クレーンでは、揚重容量が150 tという質量制限がある。このため、今回の水切り専用には仮設クローラクレーン(7800SHL型)を準備した。その移動範囲には、175 kPaの荷重に耐える鉄板で養生した。水切り場から発電所構内までの約2 kmの構内輸送(1か所の公道横断を含む。)には、680 t編成の多軸トレーラを使用した。

## 4.5 大型クローラクレーンによる下部胴・上部胴の つり込み

つり込みに使用した大型クローラクレーンの定格容量は、今回用いたモードB補助ジブ付きの形体では、最大30 m×930 tである。しかし、復水器の大ブロックつり込み時の最大作業半径は、下部胴で94 m、上部胴で91 mであり、これに対する揚重能力はそれぞれ304 tと341 tで、つり治工具を加算した最大つり質量を満足するものである。

復水器下部胴とタービン発電機用架台間のギャップ寸法は、下部胴底部がいちばん狭く、据付け状態で約40 mmと非常に小さい。そのため、2分割ごとのあとからの大ブロックつり込みでは、先につり込んだものとのギャップがほとんどないので、つり込みガイドを設置した。

## 5 実績工程

復水器の据付けでは、下部胴大ブロックをつり込み後、分割部を溶接して強度を確保したうえで、上部胴大ブロックのつり込みを行い、その後、下部胴と上部胴間の溶接を実施した。2002年5月17日の下部胴出荷開始後、下部胴と上部胴を順次現地に向けて発送した。最長約2週間の現地での仮置き保管を経て、タービン発電機の架台内定位置へのつり込みを同年7月20日に完了した。所要日数は64日と、きわめて短期間で据付けを終了した。従来の先行ABWRでは、一時期に建築工事と併進しながらも、約9か月を要していたことと比較すると、作業期間を大幅に短縮したと言える。

## 6 適用効果

復水器の大ブロック化採用によって得られた効果は以下のとおりである。

### (1) 現地取付部品と据付け作業の大幅削減

大ブロック化の採用により、上部胴では、従来のパネル工法と比べて現地作業を大幅に減少することができた。さらに、2基の内蔵ヒータをブロック化したことから、復水器上部での重量品の引き込み作業を省略することができた。

### (2) 現地保管・地組み(組立て)エリアの省略

従来の4分割ブロックつり込み工法では、細管挿入作業を復水器の定位置で行っていた。そのため、復水器の前側は挿入作業の終了まで作業待ちとするか、現地ヤードでの地組みエリアを確保し、ここでいったん細管の挿入までの仮組立を行い、その後につり込みを行っていた。この場合、製品の現地保管や地組みエリアの確保、地組み用作業設備などが必要となる。

大ブロック化の採用により、これらを省略することができた。

### (3) 細管の工場溶接による信頼性向上と作業の効率化

非常に数が多い細管の挿入や両端の拡管、溶接などの作業を環境条件のよい工場で行うことができるので、品質の向上が図れるうえに、現地での輻輳(ふくそう)作業を回避することができた。

## 7 おわりに

ここでは、北陸電力株式会社志賀原子力発電所第2号機の据付け工程における、日立製作所の大型クローラクレーンを活用した復水器の大ブロック化による建設について述べた。

この発電所の建設では、復水器の大ブロック化の効果が大きく寄与し、全体の工事が順調に進んでいる。

復水器の大ブロック工法を当初の計画どおりに実施できたのは、北陸電力株式会社の関係各位のご指導とご協力によるものである。ここに深く敬意と感謝の意を表する次第である。

### 参考文献

- 1) 後藤, 外: 特許番号 第02973139号, 原子力発電所タービン建屋における復水器の建設方法(登録日: 1999年1月8日)
- 2) 吉田, 外: 特許番号 第2852293号, 復水器上部構成の据付工法(登録日: 1998年11月13日)

### 執筆者紹介



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に従事  
E-mail: yasuyuki\_kawasato @ pis. hitachi. co. jp



織田 繁夫

1982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, 大連日立宝原機械設備有限公司企画部で, 経営計画と発電プラント補機設計指導業務に従事  
E-mail: shigeo\_oda @ dhme. pis. hitachi. co. jp



堀部 羊春

1962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に従事  
E-mail: youshun\_horibe @ pis. hitachi. co. jp



宮原 良平

1983年日立製作所入社, 電力・電機グループ 原子力事業部 日立生産本部 原子力建設部 所属  
現在, 原子力プラント建設のエンジニアリング取りまとめに従事  
日本土木学会会員  
E-mail: ryouhei\_miyahara @ pis. hitachi. co. jp