

電源開発(株)磯子火力発電所新1号発電機

鈴木 忠雄(すずき ただお)

長谷 徹(はせ とおる)

新倉 仁之(にいくら ひとし)

① まえがき

1997年4月にエンジニアリングを開始し、1998年に製作に着手した電源開発(株)磯子火力発電所向け新1号発電機(670 MVA)は、2000年7月に工場試験を完了した。

磯子火力発電所は、現在稼動中である既設発電所(2×265 MW)の敷地スペースの中に600 MWの発電設備を新設した後、稼動中の発電所を600 MWに更新する、スクラップアンドビルド方式が採用されているプラントである。

既設プラントの敷地内で2倍以上の発電容量アップを図るため、制約スペースにおける各機器の効果的な配置計画と最新発電設備としての省力化の要求があった。

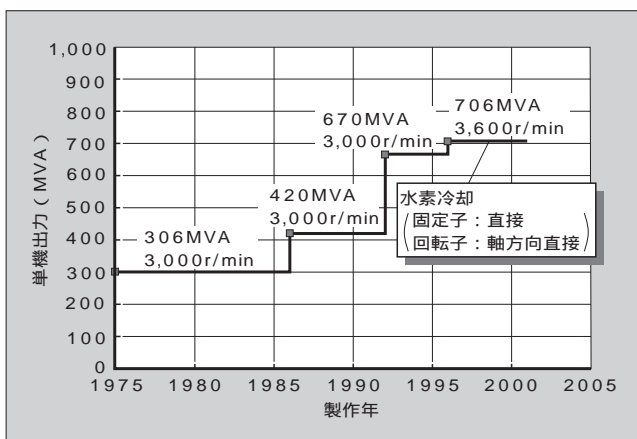
本発電プラントは大都市横浜への電力供給を担い、非常に重要な発電プラントであるため、発電機の設計・製作にあたっては、信頼性向上に注力した。

以下に本発電機の概要を紹介する。

② 発電機の出力範囲

図1に示すように、現状での実績最大容量機は、50 Hz機で670 MVA、60 Hz機で706 MVAである。これらは固定子、回転子の水素直接冷却方式を採用した発電機である。

図1 富士電機製タービン発電機の最大出力推移



本発電機は50 Hz機の最大容量実績機〔東北電力(株)能代火力発電所向け発電機〕と同一出力である。

本冷却方式での最大出力は、通風および冷却技術の向上により、現在では1,000 MVAまでの出力範囲を製作することができる。

③ 仕様および諸元

発電機の主な仕様と諸元を表1に、670 MVA発電機の断面図を図2に示す。

本発電機の基本仕様は、東北電力(株)能代火力発電所に納入した670 MVA発電機と同一であり、能代火力発電所向けとの大きな相違点は、ブラシレス励磁方式からサイリスタ励磁方式に変わった点である。また、最新火力発電機としての要求項目として次の点がある。

- (1) 効率 : 99%以上
- (2) 水素純度 : 98.5%
- (3) 起動停止回数 : 3,000回

表1 発電機の主な仕様と諸元

仕様	出力	670 MVA
	電圧	19,000 V
	力率	0.9
	周波数	50 Hz
	冷却方式	固定子・回転子水素直接冷却
	水素ガス圧力	0.4 MPa (ゲージ圧)
	回転速度	3,000 r/min
	短絡比	0.58
	励磁方式	サイリスタ直接励磁
	励磁電圧	500 V (DC)
諸元	励磁電流	5,030 A (DC)
	全長	15.6 m
	全質量	524 t
	固定子つり上げ質量	345 t
	回転子質量	68 t



鈴木 忠雄

タービン発電機の構造設計に従事。現在、エネルギー製作所回転機設計部副参与。



長谷 徹

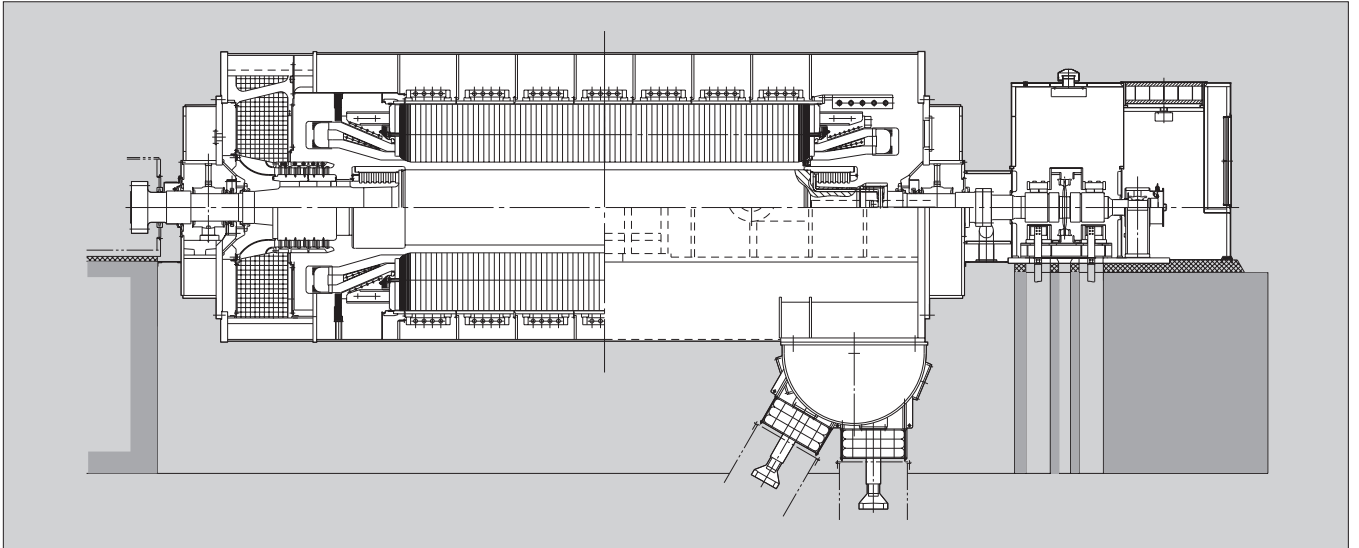
タービン発電機の構造設計に従事。現在、エネルギー製作所回転機設計部。



新倉 仁之

大型回転機の電気設計・開発に従事。現在、エネルギー製作所回転機設計部。電気学会会員。

図2 670 MVA 発電機の断面図



4 発電機の特長

4.1 冷却方式

固定子・回転子巻線の冷却方式は水素ガス直接冷却方式である。この方式は、2種類の冷媒を必要とする固定子水冷却方式に比べ、巻線冷却水に関する運転監視の項目や補機がないことから、明らかに保守が簡便になる利点がある。

図3に水素直接冷却タービン発電機の冷却通風回路図を示す。冷媒である水素ガスは回転子に取り付けられたコンプレッサによって発電機内を循環する。各部からの発生熱量は機内に挿入された水素ガスクーラによって熱交換される。

通風回路には、それぞれの部位の発生損失に対応して必要風量（ガス流量）の配分を設定し、工場試験で風量が設定値になるように各部の絞り調整が行われている。

発電機の効果的な冷却には、通風用コンプレッサの動力を最小にするため全体の風量・圧力損失をできるだけ抑え、各部に適正な冷却風量（ガス流量）を分配することが重要である。解析技術の進歩に伴い、発電機内発生損失を従来より細分化した部位に分けて評価できるようになり、その各部の損失に対して必要ガス流量を計算し、風量配分を設定した。図4に従来機と比較した風量配分比を示す。これにより従来設計に比べ総風量を約10%低減することができ、発電機効率の向上に大きく寄与している。

4.2 固定子コイル

図5に固定子コイルの断面を示す。コイルの素線にはレベル転位を行うほか、上バーと下バーの素線構成を変えた異断面コイルを採用し、発生損失低減を図っている。すなわち、上コイルでは表皮効果損失がコイル厚みによって増大する傾向を持つことから、コイルの全損失（表皮効果損+ジュール損）が最少になるように素線構成を選定している。

図3 発電機の冷却通風回路図

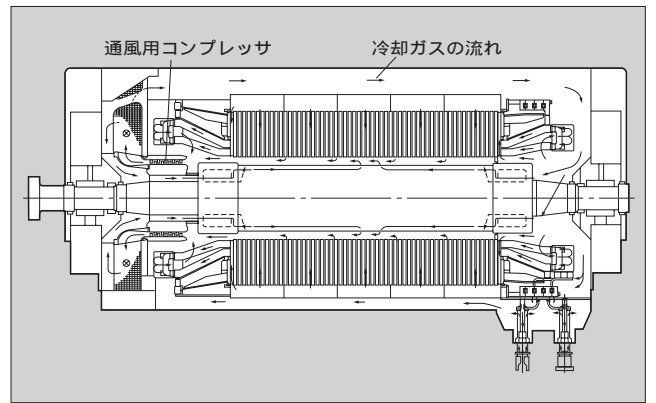
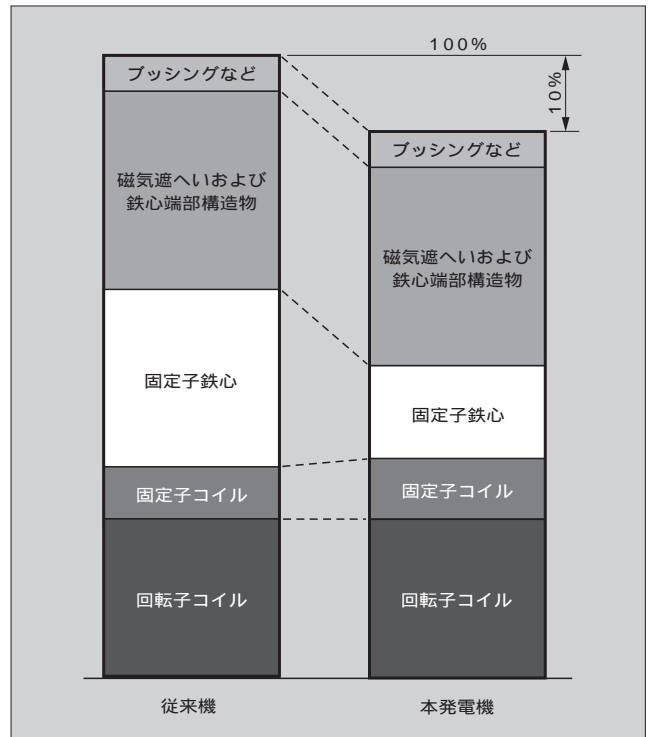


図4 冷却風量の配分比較



コイルの絶縁は経年的に枯れを生ずるので、枯れによるコイルの緩みを防止するために、従来からきめ細かな保守が要求されている。コイルの緩みがあると、コイルがスロット内で振動するために、機械的あるいはバイブレーションスパークなどの電氣的損傷を生ずる。図5に示したスプリングライナはコイルの緩み防止対策であって、トップスプリングライナはコイルをその電磁力の数倍のばね力によってスロット内に固定して振動を防止し、サイドスプリングライナはコイルをスロット壁に密着させることにより振動を制御するとともにコイル表面を確実に接地させている。

4.3 回転子の冷却

図5の回転子コイルの断面図に示すように、回転子コイルの冷却はコイルに中空導体を採用しており、図6に示すように軸方向直接冷却方式である。スロット内のコイル冷却風はコイルエンド側から流入し、コイルと熱交換を行った後、鉄心中央部から排出される。

4.4 振動

発電機出力の増大とともに回転子が長大化すると、いろいろな振動発生要因に対して敏感になってくる。その振動発生要因の一つに、サーマルアンバランス問題がある。

回転子の長大の度合いを軸胴部の長さ(L)と直径(D)の比L/Dで表すとき、富士電機ではL/Dについて、アンバランス感度の増大、危険速度が低くなることによる軸

図5 固定子コイルおよび回転子コイルの断面図

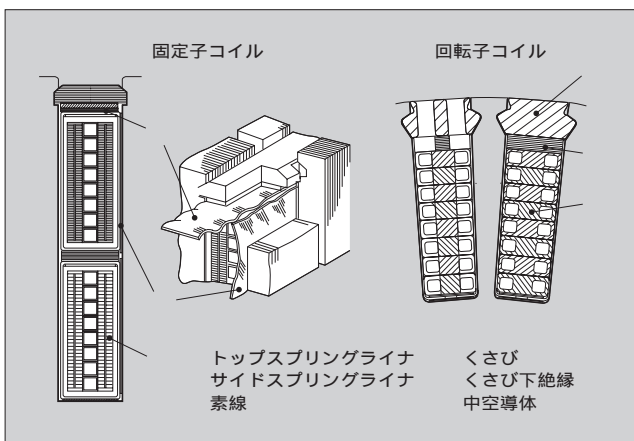
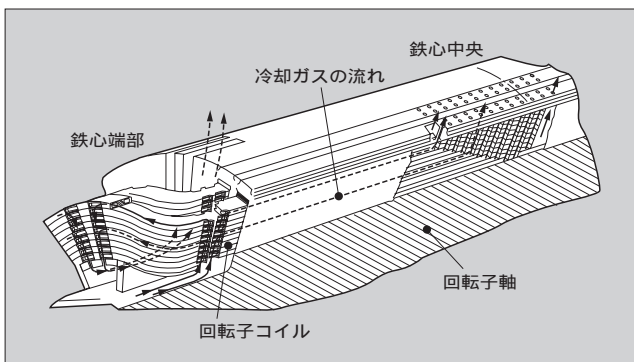


図6 回転子コイルの冷却



受安定度の低下などの制約から7程度が上限と考えている。この発電機の回転子のL/Dは5.1であって、まだ限界には至らないが、富士電機製として最大級のものである。図7に、L/Dの制約要因のなかでも重要と考えられるサーマルアンバランスの傾向を示す。例えば、回転子の周上の対向位置に1 程度の温度不均一があっても、無視できないアンバランスを生ずることが分かる。

サーマルアンバランスを低減するための対策は、参考文献1を参照いただきたい。

4.5 スリップリング、ブラシ装置

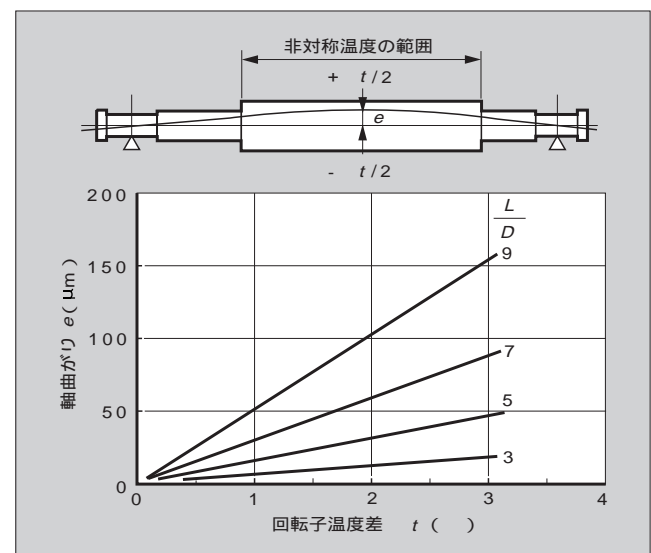
この発電機では、スリップリングとブラシ装置による界磁電流供給構造を採っている。今回の界磁電流5,030Aはスリップリングとブラシ装置構造としては、富士電機のこれまでの実績を超える。したがって、品質検証については、実運転状態を再現した最大定格電流による試験を実施して万全を期した。この結果、温度、電流密度など磯子火力発電所向けとしての検証にとどまらず、今後のスリップリングとブラシ装置に関するデータ蓄積のためにさまざまな試験、実験を実行し、多くの重要なデータを採取することができた。

4.6 密封油供給装置

軸貫通部における水素気密保持のための、密封油供給は複流式密封油供給装置によって行われている。油供給系統は図8に示すように、空気側および水素側の2系統に分かれて密封油を供給する。

本発電機においては、水素純度98.5%以上を連続して確保するために、空気側系統に油中に含まれる水分、空気などを真空脱気処理する機能を特別に追加する方法によって機内の高純度を維持する。この真空処理を併用した複流式密封油供給装置は、簡便かつ安価な方法で高純度が得られる方法である。すでに海外向けプラントの数台にて10年を超える運転実績がある。

図7 回転子非対称温度差と軸曲がりの関係



5 検証および試験結果

5.1 回転子静止通風試験

回転子コイルは軸方向直接冷却方式であるので、コイル温度は鉄心中央部で最高に達する。回転子コイルの温度は通常、発電機能力の上限を規定する重要な要素であり、温度解析の検証を実施することは、信頼性向上に大きく貢献する。したがって、計算精度の検証のために、静止通風試験を実施した。この検証試験は、コイルの温度を直接測定するために、温度素子を多数埋め込んだ実験用コイル群を製作工程において組み込み、実施した。

この試験状態を図9に示す。また、図10に計算値と測定値の比較を示す。図10に示すように、計算値と測定値は良

好な一致が認められ、精度の高い計算であることが検証できた。

また、今後の同一冷却方式の回転子に対する信頼性向上にも大きく貢献できる。

図10 回転子コイル温度実測値と計算値の比較

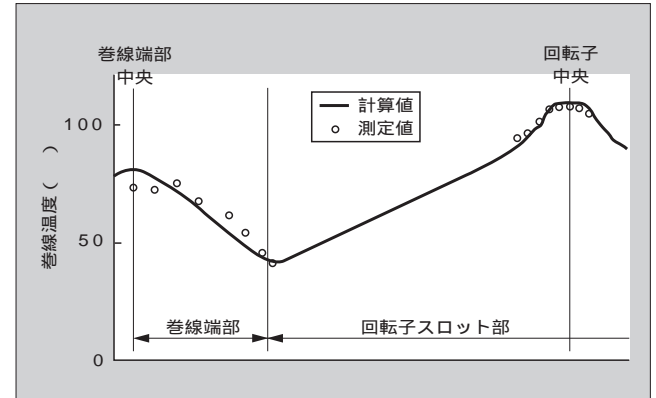


図8 密封油供給系統図

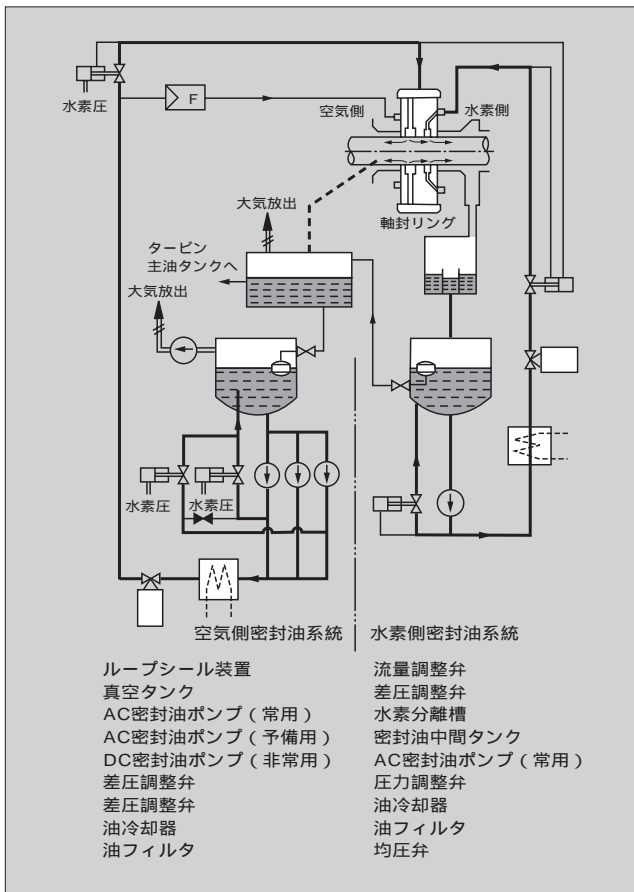


図11 発電機損失低減対策結果

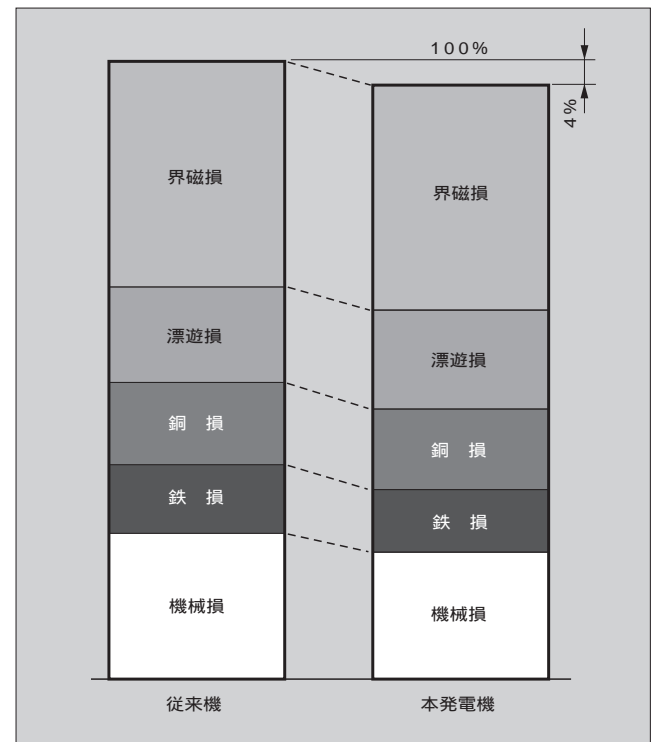


図9 回転子静止通風試験状態図

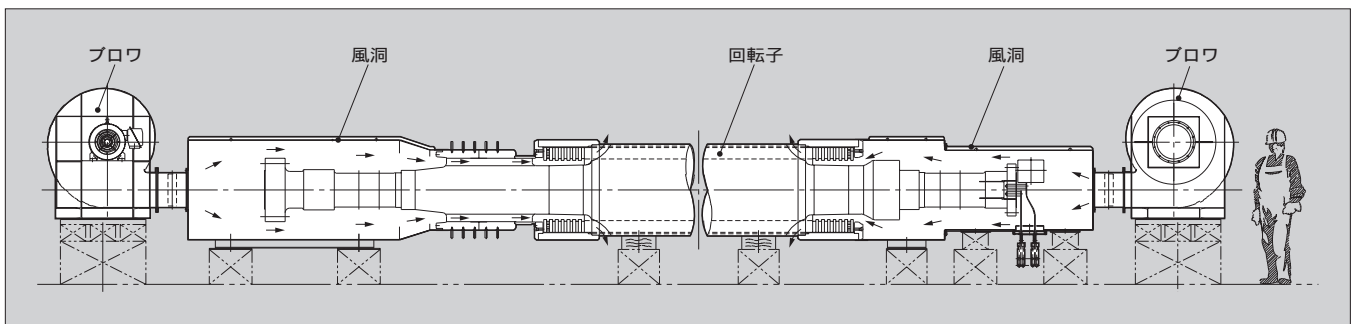


表2 工場試験時振動測定結果

部 位 \ 方 向	X 方向	Y 方向
発電機前側軸受	35.1 μm	18.6 μm
発電機後側軸受	30.0 μm	26.4 μm
スリップリング軸受	33.1 μm	34.0 μm

5.2 工場試験結果

(1) 発電機発生損失

この発電機の発生損失測定結果を従来機と比較して図11に示す。このうち機械損と鉄損に低減が認められるが、機械損減少は冷却ガスの適正配分によって過剰な風量を節減したことによるものであり、鉄損減少は鉄心板の材質向上の効果である。この結果、発電機要求効率を満足することができた。

(2) 巻線温度上昇

定格負荷での巻線温度上昇は、

- (a) 固定子巻線：41.0 K
- b. 回転子巻線：37.2 K

であり、規格値を十分に下回っていることから、風量配分が適正であったことを検証できた。

(3) 振 動

振動の測定結果を表2に示す。全軸受部において、管理値 50 μm (p-p) に対して良好な結果である。

⑥ あとがき

本発電機は事業用火力発電機として、より高度な信頼性を得るため、設計、製作、試験の各ステップにわたる総合的な品質管理を行ってきたが、この過程で貴重な技術的成果と経験の蓄積が得られた。

本プラントは現在、現地建設の真っ最中であり、現地試運転へとステージが進んでいく。これまでの富士電機の現地品質活動を推進した経験を十分に生かし、さらなる品質向上をめざす所存である。

発電機の製作にあたり、ご指導をいただいた電源開発(株)の関係各位に厚く感謝する次第である。

参考文献

- (1) 森安正司ほか：タービン発電機技術の進歩，富士時報，Vol.60，No.5，p.330-334 (1987)
- (2) 矢郷昌三ほか：東北電力(株)能代火力発電所1号機の発電機，富士時報，Vol.66，No.7，p.415-420 (1993)

最近登録になった富士出願

[特 許]

登録番号	名 称	発明者	登録番号	名 称	発明者
3099612	浮遊溶解装置	植村 浩	3101123	電流遮断装置	小林 学
3099654	冷蔵ショーケース設備	須藤 晴彦	3101124	マグネット点火装置	小林 学
3099681	交流電動機の変速制御装置	田島 宏一 海田 英俊 鉄谷 裕司	3101339	不燃性絶縁液体	仲神 芳武
			3101366	高温高圧蒸気の圧力容器	棚倉 信行
3099685	回路遮断器	浅川 浩司 内田 直司 濱 京嗣	3101998	過電流検出回路	三添 公義
			3102074	電気車の空転/滑走検出装置	岩堀 道雄 田村 浩明 依田 和之
3099690	回路遮断器	浅川 浩司 内田 直司 濱 京嗣	3102125	薄膜磁気素子	斎藤 明
3099731	自動販売機の商品取出口扉装置	佐藤 俊博	3102126	インクジェット記録装置	木佐 一之信 小糸 信之
3100580	ナトリウム冷却型高速炉の炉心支持装置	広木 篤博 尾崎 博 戸澤 克弘	3102138	光電スイッチ	菅原 聡
			3102154	畜冷・蓄熱機能付自動販売機	岩本 昌三 木村 幸雄



*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。