

クリプトスポリジウム暫定対策指針に対応した 高感度濁度計（MK- ）

佐々木 明德（ささき あきのり）

菊池 智文（きくち さとふみ）

山口 太秀（やまぐち たびで）

① まえがき

近年、水環境に対する社会的関心が高まっている。富士電機は水環境問題に対して、種々の技術的手法で取り組んでいる。

水道水は毎日利用するため、その安全性が強く要求される。富士電機は、水道原水中の有害物質ならびに給水中の消毒副生成物の除去と低減化を図る目的で、水質安全モニタとトリハロメタン計を製品化してきた。

本稿では、病原性微生物であるクリプトスポリジウムを原因とする集団下痢症の発生により、低濁度測定用センサとして注目されている高感度濁度計（図1）の仕様と特長を紹介する。

② 高感度濁度計が注目されるに至った背景

1996年6月、埼玉県越生町でクリプトスポリジウム症の集団発生が起こった。町民約14,000人のうち8,000人以上が水道水に含まれていた病原性原虫クリプトスポリジウムに感染し、下痢症を訴えた。調査の結果、この町の水道水源となっている河川の取水口上流に汚水処理施設があり、何らかの機会にクリプトスポリジウムが河川に混入したことが判明した。浄水処理を経ても病原性が不活性化されないまま給水されたためと推定されている。

この集団感染は、塩素で消毒されている水道水を介して発生したため、水道関係者に驚きと動揺を与えた。

クリプトスポリジウムは、原生動物の一種で、大きさは4.5～5.4μmの原虫では乳類の多くに寄生し繁殖する。クリプトスポリジウムは、水や食べ物のなかでは固い殻に覆われたオーシストの形で存在している。このオーシストの殻は丈夫で、塩素消毒に対して非常に強く、一般の浄水場で実施されている塩素消毒では感染力をなくすことはできない。

以上の状況の下、厚生省は1996年10月に「水道水におけるクリプトスポリジウム暫定対策指針」を策定し、水道事業者に対して周知・指導の徹底を通知した。その対策は、

図1 高感度濁度計（MK- ）の外観



次の3点である。

- (1) 水源の近くに人や家畜のふん便を処理する施設があり、汚染の可能性が高い場合は取水口を変更する。
- (2) クリプトスポリジウムによる汚染の恐れのある浄水場では、凝集剤を使用した急速汙過や膜汙過法により浄水処理を強化し、汙過池出口の水の濁度を常時把握し、汙過池の水の濁度を0.1度以下に維持する。
- (3) 水道水がクリプトスポリジウムに汚染された可能性のある場合は、給水を停止する。

塩素消毒では不活性化が期待できないため、浄水処理の徹底と汙過池出口の水の濁度を0.1度以下に維持することが必要となった。

ここで問題となることがある。0.1度以下の低濁度を精度よく測定することは、従来の透過光方式や表面散乱方式ではドリフトなどにより難しい。そのため、富士電機は、1997年に微粒子個数濃度を濁度に変換する新しい測定原理を確立し、低濁度測定と微粒子個数濃度の測定が可能な微粒子カウント式の高感度濁度計を製品化した。



佐々木 明德

工業計器分析計、光応用計測器の設計に従事。現在、富士電機インスツルメンツ(株)技術本部センサー機器技術部。



菊池 智文

発信器の設計、環境計測のシステム開発に従事。現在、電機システムカンパニー環境システム事業部環境システム技術部。



山口 太秀

酸化物質高温超電導体の研究、光応用計測の研究開発に従事。現在、(株)富士電機総合研究所環境技術研究所。応用物理学会会員。

③ 製品の概要

1997年に発表した高感度濁度計は、各地の浄水場で使用され、水質監視で大きな貢献をしている。今回、今までの実使用経験を基に、低濁度での高精度化と操作性・保守性の改良を実施したので紹介する。

図1の外観に示すように、変換部と検出部を分離し、保守性と耐水性の向上を図った。図2に配管系統図を示す。測定水は、調圧弁→加圧式脱泡槽→検出器→流量計→マスフローコントローラの順に流れる。試料水の一部は、加圧式脱泡槽でバイパス排水される。

3.1 測定原理⁽⁵⁾

図3に高感度濁度計の光学系を示す。レーザダイオードから光ビームを透明石英セル内の測定液体に照射すると、試料水中の微粒子により光ビームは散乱される。この時、ビームストップによりレーザダイオードからの直接光を遮断し、前方散乱光をレンズ系で集光し、フォトダイオードで光電変換する。微粒子がビーム照射領域を通過するたびにパルス状の電気信号が観測される。この散乱光パルスの波高値は微粒子の粒径に対応しているので、図4に示した各粒径に対応したしきい値を設けることで粒径区分ごとに微粒子個数濃度を測定することができる。

試料水中に含まれる微粒子が単分散 (粒径 d) のとき、濁度 D は微粒子個数濃度 n_d と次の関係がある。

$$D = n_d \times C_d \dots\dots\dots(1)$$

ここで、 C_d は微粒子 (粒径 d) の散乱断面積である。 C_d は散乱理論によるシミュレーション値と実験で求めた値を比較検証し、妥当性を確認している。

実際の試料水はさまざまな粒径を持つ微粒子が含まれているので、式1をそのまま適用することはできない。そこで、式2で示すように各粒径の微粒子個数濃度と散乱断面積を乗じた値をおのおの足し合わせて濁度とする方法 (微粒子カウント方式) を考案した。

$$D = \sum_{i=1}^N (n_i \times C_i) \dots\dots\dots(2)$$

ここで、 n_i は粒径区分 i に存在する微粒子個数濃度、 C_i は粒径区分 i の微粒子の平均散乱断面積、 N は粒径区分の数である。

3.2 特長

- (1) 濁度と微粒子個数濃度の両者を出力する。また、選択切換表示が可能である。
- (2) 前方散乱光微粒子カウント方式を採用し、低濁度 (0.001度) の安定した連続測定が可能である。表示分解能は0.0001度である。
- (3) 加圧サンプリング方式により、泡の発生を抑制する。

図2 配管系統図

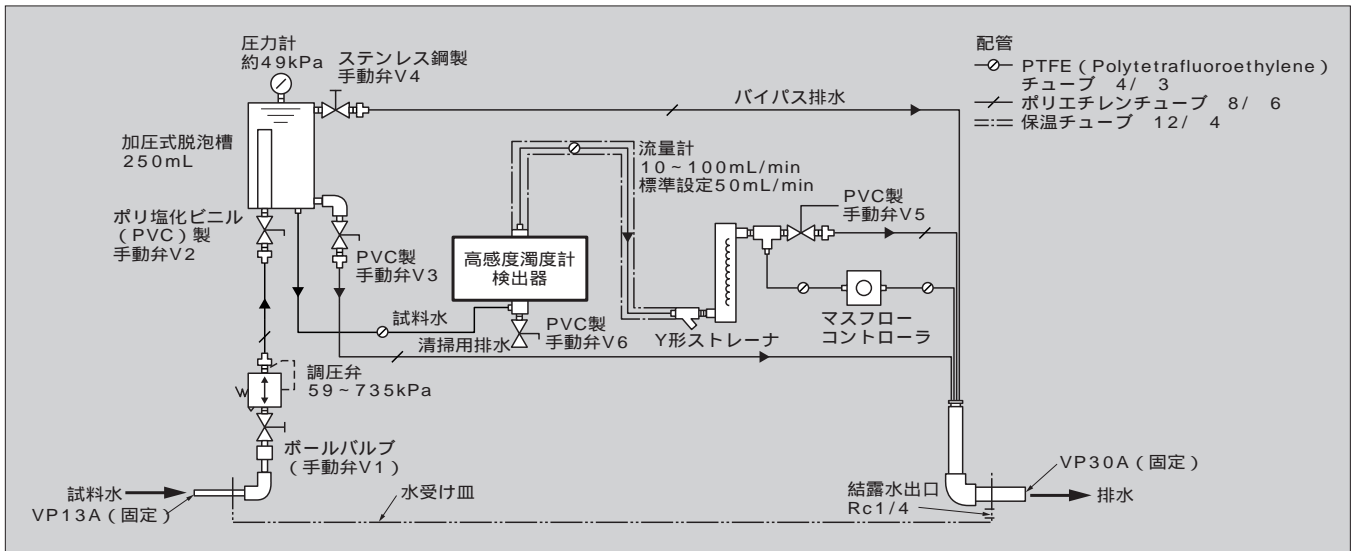


図3 高感度濁度計の光学系

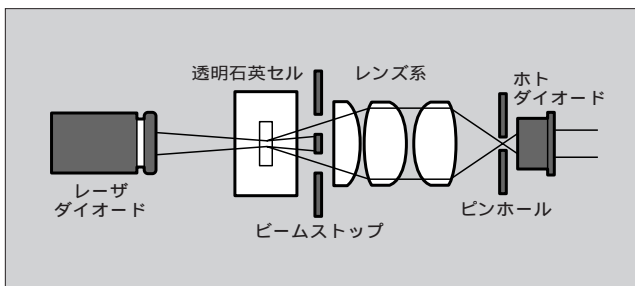
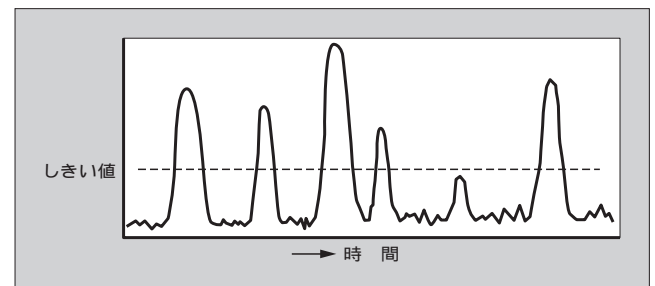


図4 微粒子による散乱光パルス



(4) マスフローコントローラによる安定したサンプリング流量を実現している。

3.3 仕様

高感度濁度計の概略仕様を表1に示す。

今回の新形機種の主な機能強化事項は以下のとおりである。

(1) 濁度演算に用いる最小可測粒径を 0.35 μm とし、表示分解能 0.0001 度を実現した。

(2) 表示の切換周期を 10 ~ 60 秒の範囲で選択可能とした。使い勝手の向上を実現した。

(3) RS-485 を標準装備し、長距離伝送を実現した。

3.4 用途

(1) 浄水場の汙過池出口水の濁度管理

(2) 膜処理施設や膜モジュール再生設備などの膜モジュールの異常検知センサ (漏えい微粒子数で膜の破断検知)

4 測定データ

(1) 各社の濁度標準液の測定

各社のカオリン濁度標準液 (100 度) を超純水で希釈した試料の濁度測定結果を図5に示す。各社の標準液ごとに粒度分布は異なるが、得られた結果は 10 % 以内で一致した。このことは、微粒子カウント方式の有用性を裏付けていると考える。

(2) 濁度測定 of 繰返し再現性

図6に濁度測定 of 繰返し再現性を示す。0.1 mg/L と 0.05 mg/L の2種類の測定液で実施した。変動係数 (CV) 値は 1.8 % と 2.4 % を得た。低濁度液であっても安定した測定が行えることが分かる。

(3) 微粒子個数濃度の直線性

表1 高感度濁度計の概略仕様

形状	屋内パイプスタンド形
測定対象	○ 浄水場汙過池出口水 ○ 浄水場膜処理設備出口水
測定方式	前方散乱光微粒子カウント方式 (微粒子個数濃度を濁度変換)
測定範囲	濁度: 0.0000 ~ 2.0000 mg/L あるいは FTU 粒径区分: 0.5, 1, 3, 7 μm 微粒子個数濃度: 0 ~ 10 ⁵ 個/mL
最小可測粒径 (演算)	0.35 μm
繰返し性	± 2%FS (0 ~ 0.5 mg/L) ± 5%FS (0.5001 ~ 2 mg/L)
直線性	± 2.5%FS (0 ~ 0.5 mg/L) ± 5%FS (0.5001 ~ 2 mg/L)
試料水採取量	1,000 mL/min 程度
試料水流量	50 mL/min
試料水圧力	59 ~ 735 kPa
サンプリング周期	10 ~ 60秒
表示	○ 測定値 (または の選択切換: キー操作) 濁度: 0.0000 ~ 2.0000 mg/L あるいは FTU 微粒子個数濃度: 0 ~ 99,999個/mL ○ 警報 濁度異常または微粒子個数濃度異常: 表示がフリッカ 自己診断機能 ○ ベースライン異常: CEL 表示 ○ レーザ異常: Ld 表示 ○ 通信異常: COM 表示
設定入力	上限値 アナログ出力の任意FSレンジ入力 (可変可能) 移動平均
外部出力	○ 濁度: DC4 ~ 20 mA 許容負荷抵抗 550 Ω 以下 ○ 微粒子個数濃度: DC4 ~ 20 mA 許容負荷抵抗 550 Ω 以下 ○ 微粒子個数濃度 + 濁度: RS-485出力 通信データ: 濁度, 微粒子個数濃度: 粒径各 0.5, 1, 3, 7 μm 以上, 伝送周期: 0.5, 1, 2, 10, 30, 60分設定可能
接点出力	濁度異常: 1 a ドライ ベースライン異常: 1 a ドライ レーザあるいは通信異常: 1 a ドライ
周囲温度	- 5 ~ + 40 (凍結しないこと)
周囲湿度	90%RH 以下 (結露しないこと)
電源	AC100 ± 10% 50/60 Hz 約 100 VA
質量	約 60 kg
塗装色および設置場所	本体: マンセル 5PB4/2 半つや ボール架: マンセル N7 半つや ○ 屋内, 水質試験室, 汙過池出口付近の管廊などで, 直射日光の当たらない所 ○ 振動の少ない場所, 雰囲気中に腐食性ガス (Cl ₂ など) を含まない場所

図5 カオリン濃度と濁度測定値の関係

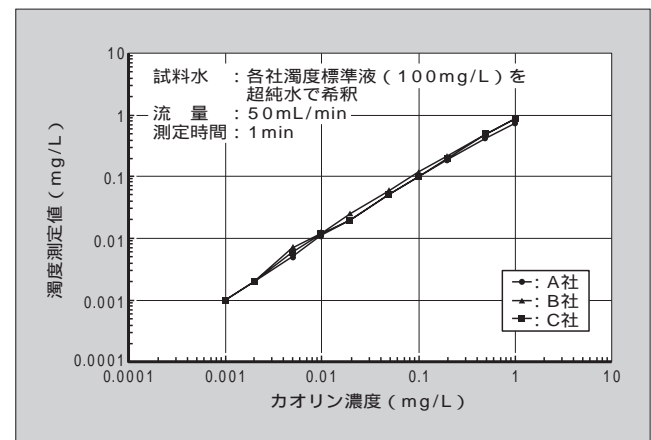


図6 濁度測定 of 繰返し再現性

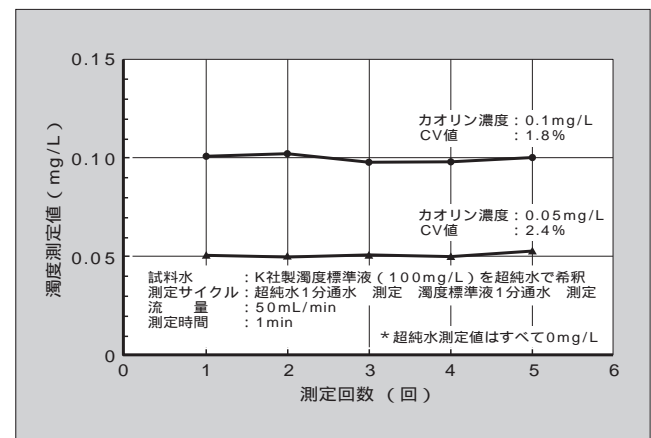


図7に粒径0.506 μm のPSL (Polystyrene Latex) 標準の濃度と個数濃度測定値の関係を示す。 $2 \times 10^2 \sim 2 \times 10^5$ 個/mLの範囲で直線関係が認められる(相関係数0.9998)。低濃度領域での乖離(かいり)は、配管や容器からのはく離・発生と考えている。砂濾過水では数万個/mL、膜処理水では数百個/mL程度であるため、実用上は問題がないと考える。

(4) 膜破断試験

図8は破断試験の結果である。カオリン10mg/Lの試料水をポンプで膜モジュールに供給し、膜処理水を測定した。その結果、約3,000本ある中空糸膜のうち、1本を切断すると0.5 μm 以上の微粒子が約8,000個/mLも流出した。さらに切断した本数を増やすと、微粒子の流出数は直線的に増加した。

(5) フィールド試験⁽⁶⁾

図9に濾過池出口で行ったフィールド試験の結果の一例を示す。濁度の上昇には、緩やかな日周変動と逆洗後の急激な上昇の2種類があった。

日周変動は凝集状態の変動により、小さな粒子が濾過池を通り抜けたと考えられる(0.5 μm 以上の個数濃度と濁度はおおむね同期しているが、3 μm 以上の個数濃度の場合には濁度との同期は観測されていない)。

逆洗直後の濁度は急激に上昇した。3 μm 以上の個数濃

図7 微粒子個数濃度測定直線の線性

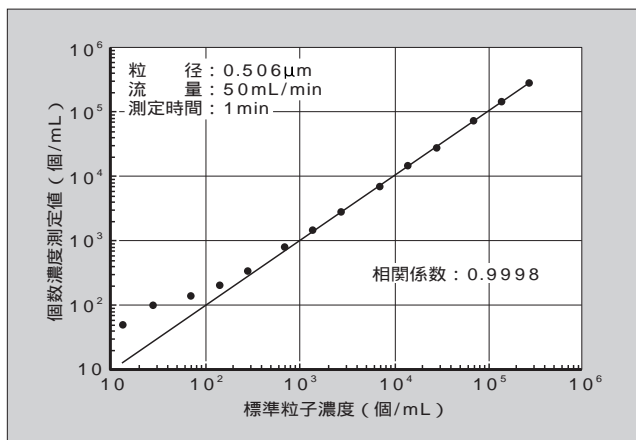
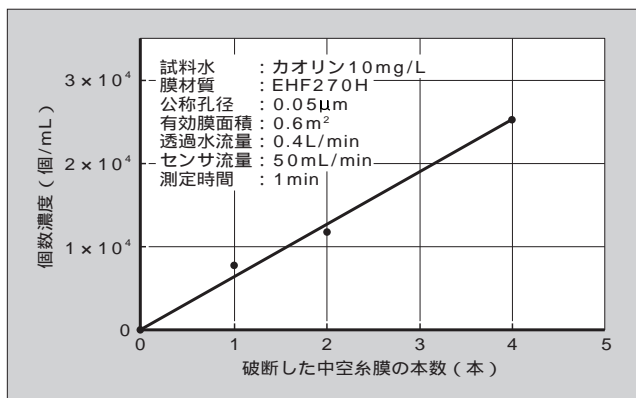


図8 破断した中空糸膜の本数と微粒子個数濃度(0.5 μm 以上)の関係



度は濁度が0.1 mg/L以下であっても100個/mLを超えていた。低濁度と微粒子数の測定を行うことで、逆洗条件に関して今までにない知見を得ることが可能である。

5 保 守

高感度濁度計を正常に動作させ、良好な運転状態に保つためには、測定原理・装置の特性などを十分にご理解いただき、定期的な保守・点検を行う必要がある。

高感度濁度計の心臓部は図3の光学系で、なかでも透明石英セルの内面を清浄に維持することが維持管理上で重要である。セル内壁の洗浄には、次の三つの方法がある。

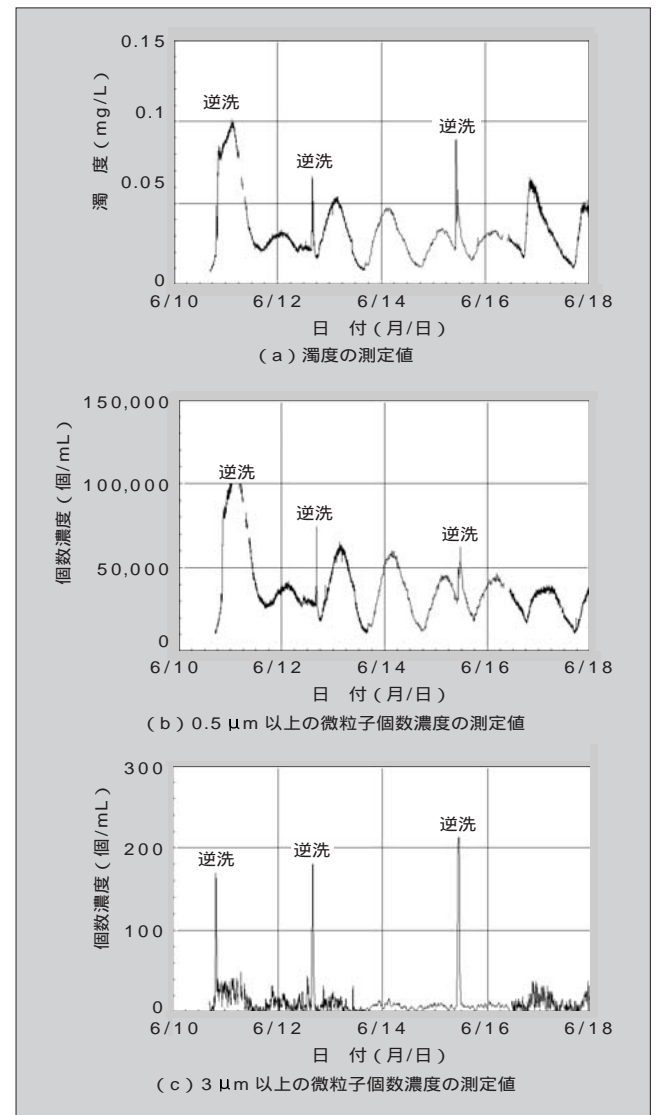
(1) 0.05 mol/L しゅう酸洗浄

脱泡槽内に0.05 mol/L しゅう酸溶液500 mLを注ぎ、透明石英セルの内面を洗浄する。鉄・マンガン汚れ除去に有効である。1か月に1回程度実施する。

(2) 自動洗浄(オプション)

上記1)の操作を自動で、定期的(例えば1回/週)に実施する。試料水中のセル汚染物質の濃度の高い場合に有用

図9 フィールド試験結果



である。

(3) ブラシ洗浄

透明石英セルの内面を専用のブラシで軽くこする。有機物の汚れ除去に有効で、3 か月に 1 回程度実施する。

上記の洗浄方法で、無機物と有機物の汚れ除去を行い、安定した測定を実現している。

⑥ あとがき

本稿では、クリプトスポリジウム対策の一助となる高感度濁度計の製品概要について紹介した。

今後も安全で安心できる水道を実現していくことに貢献できるよう新しい水質センサの開発に努めたい。また、既存のセンサについても取扱いの容易化を実現するため、改良を図っていききたい。

参考文献

- (1) 伊藤晴夫ほか：水質関連ソリューション技術の動向と展望、富士時報、Vol.70、No.6、p.299-302 (1997)
- (2) 北沢弘美ほか：水道水の微粒子計測、ぶんせき、No.302、p.80-85 (2000)
- (3) 田中義郎ほか：クリプトスポリジウム対策としてのオゾン消毒技術、富士時報、Vol.71、No.6、p.336-341 (1998)
- (4) 厚生省生活衛生局：水道水中のクリプトスポリジウムに関する対策の実施について (1996年10月4日付)
- (5) 山口太秀ほか：水道水の超低濁度測定技術、計測技術、Vol.26、No.2、p.72-75 (1998)
- (6) Yamaguchi, D. : Simultaneous Measurement of Turbidity and Particle Concentration. Proceeding of IWSA-ASPAC Regional Conference. p.33-38 (1998)

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
3079851	炭化けい素電子デバイスの製造方法	荻野 慎次	3085078	炭化けい素電子デバイスの製造方法	荻野 慎次 漆谷多二男 金丸 浩
3079853	かご形回転子の低圧鑄造方法	南部 勤 沖 陽一 間中 功一			
3083228	ネットワークにおける参加勧誘方法	田中 康裕	3085089	キュボラから鑄型への注湯装置	林 静男
3083951	ゲーム機台支持装置	山下 智弘 千國 量也	3085272	炭化けい素半導体装置の熱酸化膜形成方法	上野 勝典
3084794	オートフォーカス用 IC の組立方法	広橋 修	3085846	通信ネットワーク	大澤 千春 山田 隆雄
3084857	電力用半導体装置の熱抵抗測定方法	植野 利男	3087516	並列処理計算機	川田 信哉
3084875	自動販売機の商品取出口内部構造	山本 昌史			
3084979	コンデンサ分圧回路	青木 泉	3087859	インバータ装置	鳩崎 芳久 田久保 拓 柴山 国夫
3084982	半導体装置	宝泉 徹	3088594	ペルトン水車を使用した発電所における水路排水制御方法	相場 茂
3085011	硬貨処理機	新妻 信行	3088778	直流電動機の巻線温度測定方法	岩村 光二
3085014	映像データ群間の極大相関検出回路	西部 隆	3088954	原子炉用燃料ペレットの選別装置	浦入 重人 児玉 健光 乾 俊彦 川崎 隆夫 村上 真一
3085037	絶縁ゲートバイポーラトランジスタ	澄田 仁志	3089336	薄膜光電変換素子の製造装置	清水 均
3085038	プラズマ溶射装置	宮本 昌広	3089642	プロセッサ間のデータ移送装置	大澤 千春
3085061	ガス絶縁変圧器巻線の軸方向絶縁支持構造	高萩 隆司 橋本 信行 池田 健二	3089755	半導体集積回路装置	長安 芳彦
			3089756	静電チャック	榊原 康史 虎口 信 近藤 健治
3085077	電子写真用感光体	山崎 正志 天野 雅世 鍋田 修	3089843	変圧器磁気シールド	大久保堅司



*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。