

# ほう素対応海水淡水化施設の 運転状況

## Report on Boron Removal Seawater Desalination Facility



技術本部  
水処理第二技術部技術室  
佐藤 良太  
Ryota Sato  
竹坂 憲治  
Kenji Takesaka  
野下 昌伸  
Masanobu Noshita

小呂島では水質基準改正と将来の水需要増大（下水道整備等）による水不足を補うために海水淡水化設備（計画浄水量 50 m<sup>3</sup>/d）を導入し、2003年3月より給水を開始している。本設備は、ほう素の除去を目的とした2段RO膜処理方式を採用している。ほう素濃度は常に水質基準以下となっており、安定した運転をおこなっている。薬品洗浄は現地洗浄方式であり、半年に1回の頻度で実施している。

In order to meet the revision of potable water standard and expected increase of future water demand, a desalination facility with design capacity of 50 m<sup>3</sup>/d is installed in Oronoshima Island, and has been operating since March 2003. The facility employs Double pass RO system to remove boron. On site chemical cleaning is carried out semi-annually, so that the facility operates stably with keeping boron concentration lower than the standard.

### Key Words :

U F 膜	Ultrafiltration membrane
スパイラル膜	Spiral membrane
逆浸透膜	Reverse osmosis membrane
薬品洗浄	Chemical cleaning
ほう素	Boron

### まえがき

一般に海水は96.5%の水と3.5%の塩分からなっており、海水中の塩分を除去することによって海水から真水をえることができる。海水淡水化の方法としては蒸発法、電気透析法、逆浸透法がある。これらの方式のなかで近年は、エネルギー消費量が少なく、コンパクトで運転管理が容易な逆浸透法式の設備が多くなっている。わが国における水道用海水淡水化施設の設置状況の特徴は下記である。①離島地域の簡易水道に多く設置されている。②全施設の大半が500 m<sup>3</sup>/d 規模以下の小規模施設である。③全施設の約90%が逆浸透法である。<sup>1)</sup> 一方、国内の大

規模施設の例としては、1997年4月より沖縄県で造水量40 000 m<sup>3</sup>/d、2005年3月より福岡市で造水量50 000 m<sup>3</sup>/dの逆浸透膜プラントが稼働している。

また海水中に5 mg/L 前後含まれるほう素はRO膜での除去率が他の無機成分とくらべて低いため<sup>2)</sup>ほう素除去を目的とした低圧RO膜を高圧RO膜の後段に追加した2段RO膜処理法が開発された。

本報では2003年3月より供用を開始した小呂島海水淡水化設備についての運転状況について報告する。

### 1. はじめに

小呂島は、福岡市西区姪浜から北西約45 km 渡船で約1時間に位置し、周囲3.5 km、面積0.43 km<sup>2</sup>、

人口約230人の島である。写真1<sup>3)</sup>に小呂島全景を示す。写真2<sup>3)</sup>に雨水貯留ダムを示す。本島の主要産業は漁業で、島には川がないので従来は島の各所に設けた雨水貯留ダムを水道水源にしているが、慢性的に水不足に悩まされ、時には本土より給水船にて飲料水を輸送することもあった。そのため、1991年に日量20 m<sup>3</sup>の海水淡水化設備が設置され、福岡市が渇水になった1994年も含めて約12年間一度も渇水になることなく島の水源として活躍してきたが、2000年の水質基準改正と将来の水需要増大（下水道整備等）に対応するため2003年に日量50 m<sup>3</sup>の新しい海水淡水化設備が設置された。本設備は、国内で最初に稼動した水道水質のほう素規制対応の海水淡水化設備で、既設備にくらべて水質・維持管理が大幅に改善されている。ここに、設備概要・運転状況を紹介する。

## 2. 設備概要

### 2.1 設備の構成

本設備は従来の1系列から日量25 m<sup>3</sup>×2系列とし、水需要への対応性と水供給の安定性を重視した

施設となっている。本設備の概要を図1のフロー、表1に設備仕様、写真3に海水淡水化施設、写真4に膜ユニットを示す。海水淡水化設備は、①取水設備②前処理設備③第1段RO設備④第2段RO設備⑤後処理設備から構成される。

### 2.2 設備のフロー

海水淡水化設備に供給される海水は取水ポンプにより海面下より取水され、原海水貯槽に貯留する。このとき海中の貝・藻類の付着を防止するため電解塩素発生装置によって発生させた次亜塩素酸ナトリウムを注入する。次に前処理工程として、ろ過給水ポンプで砂ろ過およびUF膜ろ過をおこない、ろ過海水貯槽に貯留する。ろ過水質としては Fouling Index (FI) が4以下となり、第1段RO膜への供給水水質を満足している。砂ろ過は圧力式の単層ろ過であり、24時間に1回の頻度で逆洗をおこなって

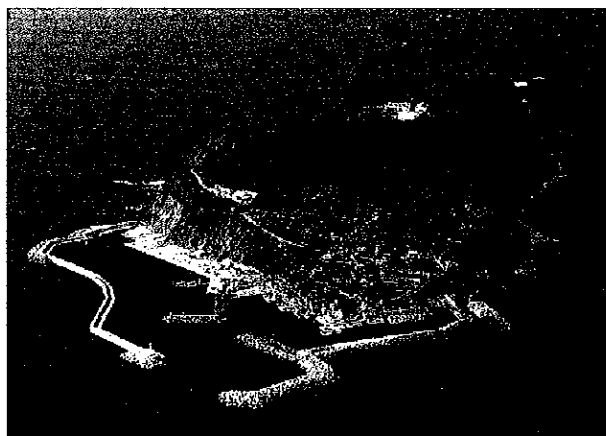


写真1 小呂島全景

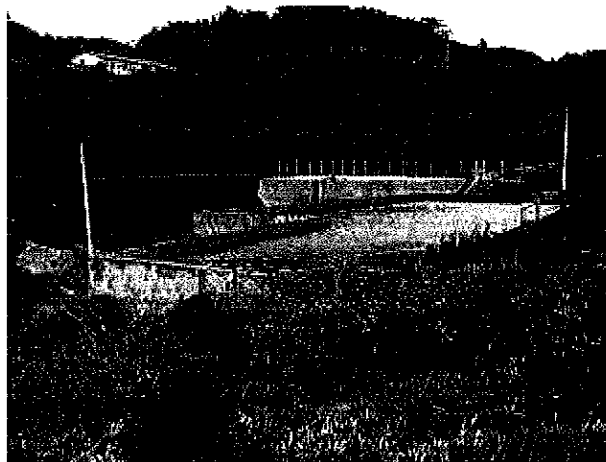


写真2 雨水貯留ダム

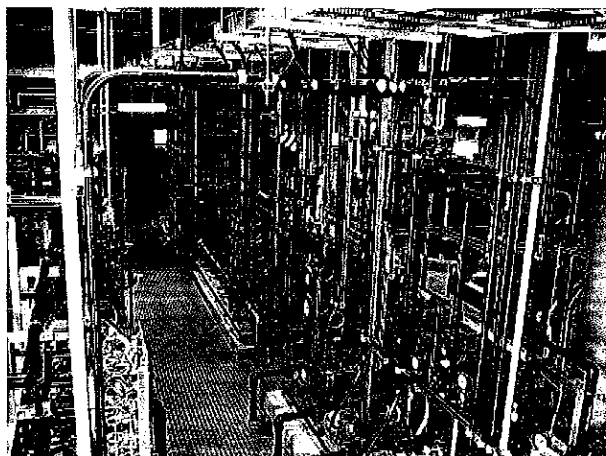


写真3 海水淡水化施設

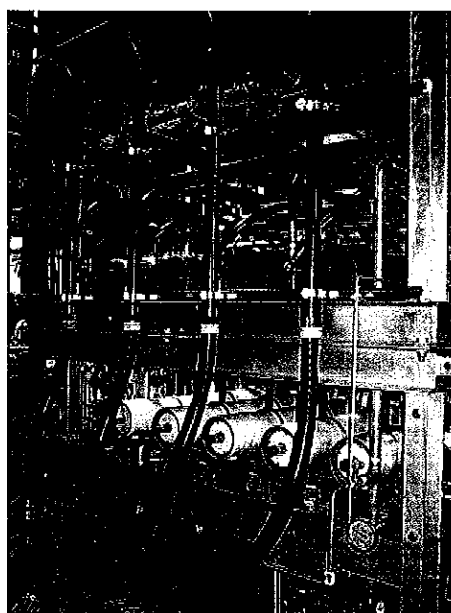


写真4 膜ユニット

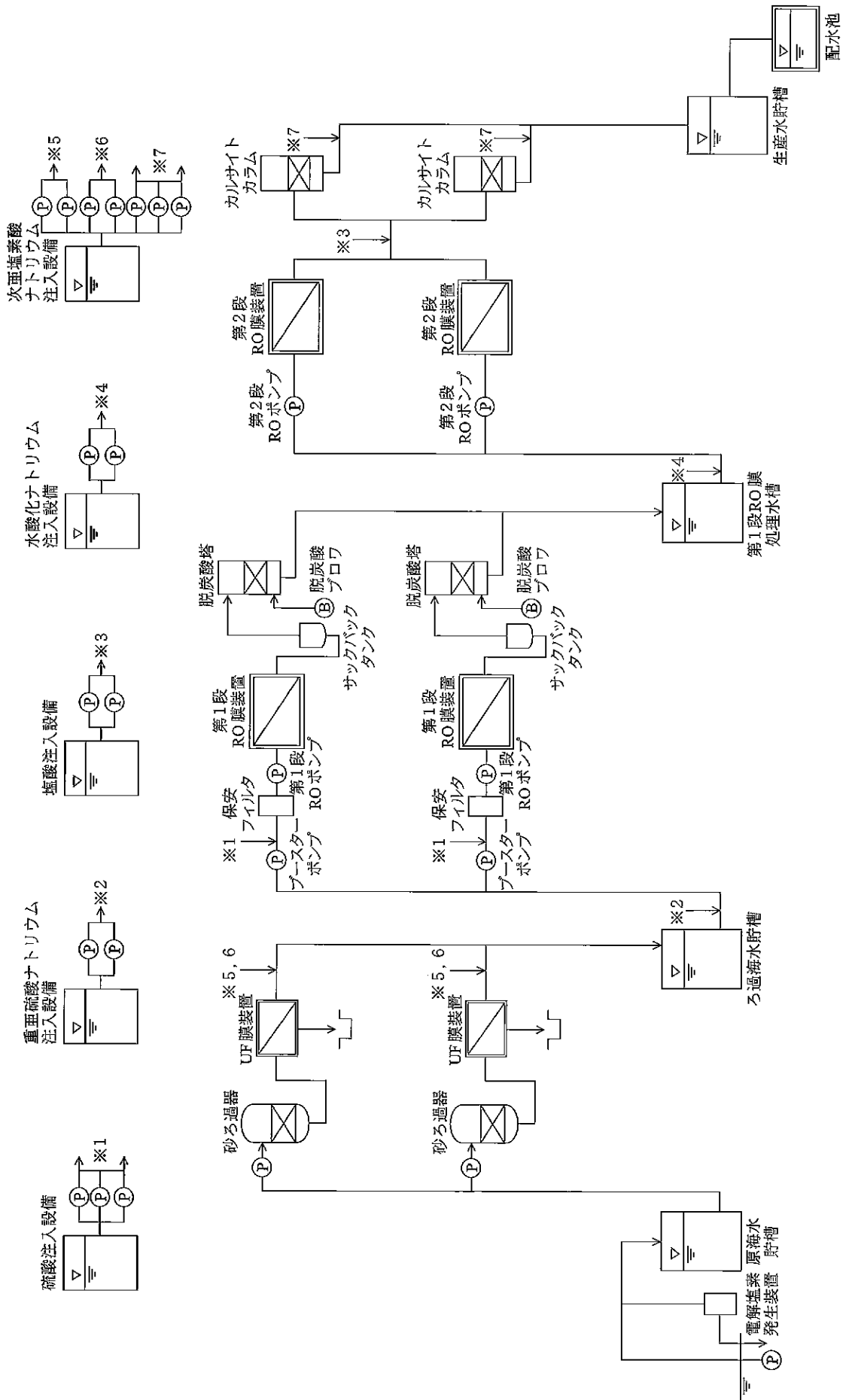


図1 海水淡水化設備フローシート

表1 設備仕様

項 目		設 備 仕 様
取 水 設 備	取水ポンプ 電解塩素発生装置	207 L/min×79 m×2台 (1台予備) 25 g/h
前 処 理 設 備	砂ろ過器	圧力式円筒型単層砂ろ過器
	UF膜ろ過装置	膜材質 系 列 モジュール本数 モジュール配列 ろ過方式 物理洗浄 薬品洗浄 ポリフッ化ビニリデン (PVDF) 2 系列 10本 (5本/系列) 並 列 全量ろ過 逆圧水洗浄, 浸漬洗浄 クエン酸
第 1 段 RO 膜設備	保安フィルタ	10 μm × 2 本
	供給ポンプ	73 L/min×7.0 MPa×15 kW×3台 (1台予備)
	逆浸透膜装置	膜材質 系 列 モジュール本数 モジュール配列 ろ過方式 ろ過水量 回収率 薬品洗浄 三酢酸セルロース 2 系列 8本 (4本/系列) 並 列 クロスフローろ過 29 L/min (41.7 m³/d) 40 % クエン酸
第 2 段 RO 膜設備	供給ポンプ	29 L/min×2.0 MPa×4.0 kW×3台 (1台予備)
	逆浸透膜装置	膜材質 系 列 モジュール本数 モジュール配列 ろ過方式 ろ過水量 回収率 薬品洗浄 合成高分子系複合膜 (ポリアミド系) 2 系列 12本 (6本/系列) 3本リジェクト クロスフローろ過 17.4 L/min (25 m³/d) 60 % クエン酸

いる。UF膜ろ過装置は全量ろ過方式である。UF膜装置は2系列で構成されている。

前処理された海水は、スケール防止のために硫酸を添加し pH を6.0~6.5に調整後、ブースターポンプにて保安フィルタ (目開き10 μm) を通過し、さらに第1段 RO ポンプに送られ、5~6 MPa に加圧されて第1段 RO 膜に送られる。

第1段 RO 膜装置により処理された透過水は脱炭酸塔に送られ、脱炭酸プロワにより炭酸ガスの除去をおこなう。その後第1段 RO 膜処理水槽にいったん貯留され、さらに第2段 RO 膜装置で処理される。

第2段 RO 膜への供給水は、ほう素の除去をおこなうために、pH を9~10に調整している。第2段 RO 膜により処理された透過水は塩酸を添加し pH を調整後、カルサイト (粒状大理石) による硬度成分の調整および次亜塩素酸ナトリウムによる滅菌をおこない、生産水貯槽に送られる。

### 2.3 膜および膜モジュール

前処理設備にもちいている UF 膜はポリフッ化ビニリデン製の分画分子量150 000のスパイラル型で、膜モジュールは膜面積30 m² (モジュール1本当たり) である。本装置には各系列5本の膜エレメントが装備されている。本膜は定期的なるろ過海水での逆洗により膜面堆積物を排出する。

第1段 RO 膜にもちいている膜は三酢酸セルロース製の中空糸型である。本装置には各系列4本の膜エレメントが装備されている。

第2段 RO 膜にもちいている膜は合成高分子系複合膜 (ポリアミド系) であり、スパイラル型である。本装置には各系列6本の膜エレメントが装備されている。

### 2.4 洗 浄

#### 2.4.1 物理洗浄 (UF 膜)

UF 膜ろ過装置の物理洗浄方式は逆圧水洗浄であ

る。約1時間に1回の頻度で次亜塩素酸ナトリウムを0.5～5 mg/L 添加して洗浄を実施している。そして逆圧水洗浄の10回に1度、浸漬洗浄を実施している。これは、次亜塩素酸ナトリウム注入率（150～500 ppm）の洗浄水に約60分間浸漬させることで逆圧水洗浄では除去できない汚れを除去することを目的としている。

#### 2.4.2 薬品洗浄（UF膜、第1段RO膜、第2段RO膜）

長時間の運転により膜表面にスケールの付着、鉄分の沈着が起り、間欠的に繰り返される物理洗浄だけでは膜差圧が十分回復しなくなる。そのためUF膜、第1段RO膜、第2段RO膜とも約半年に1回薬品洗浄を実施している。使用する薬品は、無機塩類、金属類の除去を目的としてクエン酸（2%）をもちいる。洗浄工程では、薬品によるろ過循環、浸漬をおこなう。

#### 2.5 維持管理

施設は全自動で運転管理されている。主な維持管理は、日常の機器点検、テレメータでの監視、薬品補充、薬品洗浄、回転機器類のオーバーホール、膜本数の切替である。

テレメータでは、ろ過水量、pH、電気伝導率、残塩濃度、自動弁の開閉状態の表示および機器故障などの警報信号を送っている。テレメータによって小呂島と夫婦石浄水場の双方で運転を監視できる。

RO膜の透過水水質は供給水圧力が高いほど良くなる性質がある。一定の透過水量をえるために必要な供給水圧力は水温が高くなるほど低くなるため、

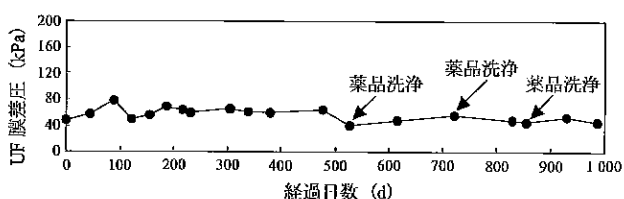


図2 UF膜 膜差圧の経日変化

表2 薬品注入条件

項 目	注 入 点	注 入 率 (mg/L as 100 % Chem.)
硫 酸	第1段RO膜入口	20～60
重亜硫酸ナトリウム	第1段RO膜入口	6～10
水酸化ナトリウム	第2段RO膜供給水入口	20～40
塩 酸	第2段RO膜出口	10～80
次 亜 塩 素 酸	UF膜逆洗水入口（逆圧水洗浄用）	0.5～5
ナ ト リ ウ ム	UF膜逆洗水入口（浸漬洗浄用）	150～500
	カルサイトカラム出口（滅菌用）	0.3～2.0

水温が高くなる場合にはRO膜を削減して供給水圧力を高める必要がある。本設備では、安定した水質を確保するために、年2回水温20度を基準として膜の削減および復旧をおこなっている。

### 3. 運転状況

#### 3.1.1 前処理設備

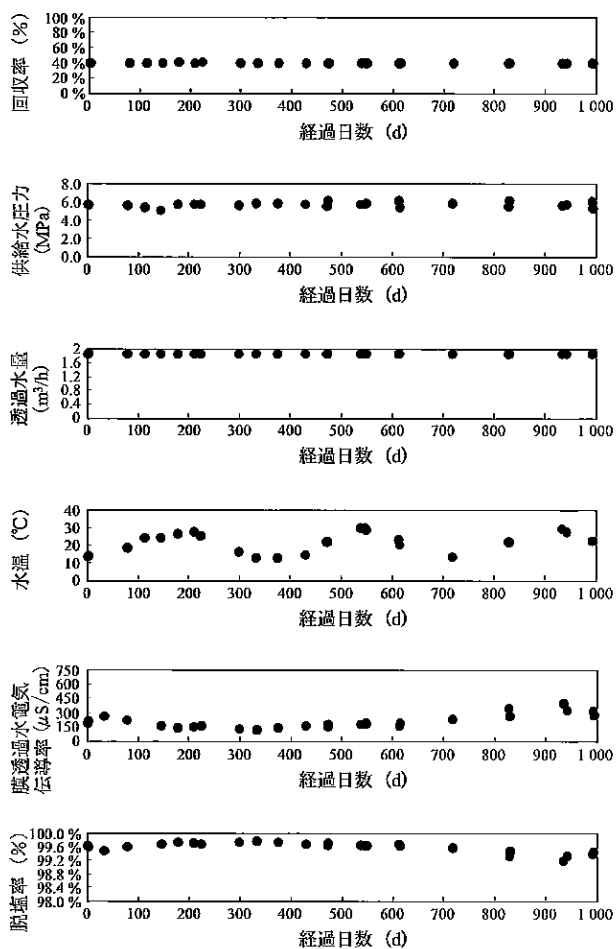
図2に前処理設備であるUF膜ろ過装置の運転データを示す。膜差圧は平均55 kPaで推移している。薬品洗浄は運転開始1年後から、約半年ごと（523日目、723日目、857日目）に実施している。運転開始から約1000日経過しているが急激な差圧上昇はみられず安定して運転されている。これは、海水淡水化設備において前段の砂ろ過装置がUF膜の前処理として有効であることを示している。また、UF膜の逆圧水洗浄および浸漬洗浄により膜面に付着した汚れが効果的に除去されているといえる。表2に各設備の薬品注入率を示す。前処理設備では、次亜塩素酸ナトリウムを使用している。第1段RO膜、第2段RO膜では、硫酸、重亜硫酸ナトリウム、苛性ソーダ、塩酸をもちいている。

#### 3.1.2 第1段RO膜

図3に第1段RO膜の運転データを示す。運転開始より回収率は40%に保たれている。処理水量は1.85 m<sup>3</sup>/hがえられている。原海水の電気伝導率は50300 μS/cmに対し、透過水電気伝導率は平均220 μS/cmである。脱塩率として電気伝導率ベースで99.2%である。運転開始から約1000日が経過しているが、運転圧力も問題なく、差圧の上昇もみられない。運転状況、透過水水質は良好である。700日目を経過したところより徐々に脱塩率が低下傾向にあるが、第1段RO膜については4年で全数交換をおこなうように計画しており、予定通り995日目に膜交換（4本中2本）をおこない設備は順調に運転を継続している。

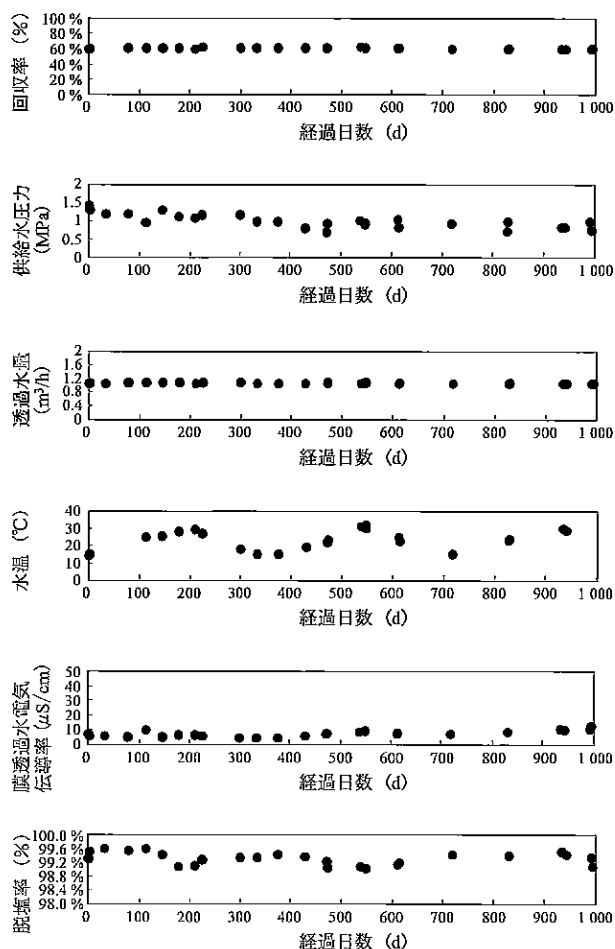
#### 3.1.3 第2段RO膜

図4に第2段RO膜の運転データを示す。運転開



期間：2003年2月21日～2005年11月12日  
 透過水水量：1.74 m<sup>3</sup>/h  
 回収率：40 %  
 第1段RO膜供給水電気伝導率：50 300 μS/cm (平均)  
 膜モジュール：Hollosep HB9155E1  
 脱塩率：(1-C<sub>w</sub>/C<sub>f</sub>)×100 %

図3 第1段RO膜運転状況



期間：2003年2月21日～2005年11月12日  
 透過水水量：1.04 m<sup>3</sup>/h  
 回収率：60 %  
 第2段RO膜供給水電気伝導率：220 μS/cm (平均)  
 膜モジュール：ES20B-D4  
 脱塩率：(1-C<sub>w</sub>/C<sub>f</sub>)×100 %

図4 第2段RO膜運転状況

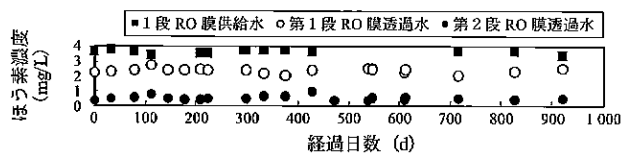
表3 水質分析結果

検査項目	単位	原海水 (2003年2月27日)	浄水 (2003年2月27日)	水質基準
濁度	度	0.4	<0.1	<2
色度	度	<1	<1	<5
pH	—	8.2	7.5	5.8~8.6
蒸発残留物	mg/L	37 700	161	<500
ナトリウム	mg/L	10 300	1.4	<200
全硬度	mg/L	6 460	85	<300
塩素イオン	mg/L	19 500	34	<200
有機物等 (過マンガン酸カリウム消費量)	mg/L	3.9	0.7	<10
ほう素	mg/L	4.91	0.4	<1.0

始より回収率は60%に保たれている。処理水量は1.04 m<sup>3</sup>/hがえられている。第2段RO膜供給水の電気伝導率は平均220 μS/cmに対し、透過水電気伝導率は平均8 μS/cmである。脱塩率として電気伝導率ベースとして93%である。表3に原海水および浄水の水質分析結果を示す。

### 3.2 ほう素の安定除去

図5に第1段RO膜、第2段RO膜のほう素濃度のデータ、図6にそれぞれの膜のほう素除去率のデータ、図7に第2段RO膜供給水の水温のデータ、図8にpHのデータを示す。第1段RO膜供給水のほう素濃度は平均3.6 mg/Lに対し、1段RO膜濃縮水



※期間中のほう素濃度は弊社分析値  
 図5 第1段RO膜・第2段RO膜 ほう素濃度の経日変化

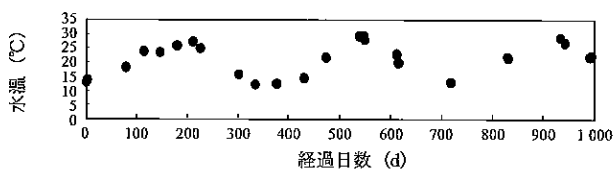


図7 第1段RO膜・第2段RO膜 水温の経日変化

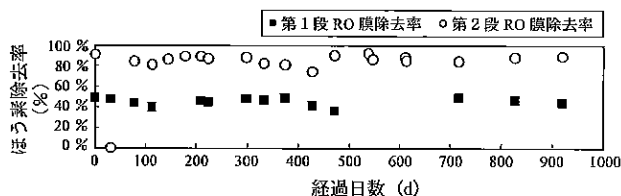


図6 第1段RO膜・第2段RO膜 ほう素濃度除去率の経日変化

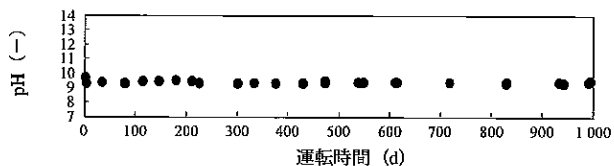


図8 第2段RO膜供給水pHの経日変化

のほう素濃度は平均4.9 mg/L, 1段 RO 膜透過水のほう素濃度は水温によるとみられる変動はあるが平均2.4 mg/L, 回収率を考慮した除去率は平均44 %である。第2段 RO 膜供給水の pH は, 9~10に調整している。ほう素はアルカリ領域では解離が進みイオン化するため, 高 pH 領域では高いほう素除去性がえられる。透過水ほう素濃度は平均0.5 mg/L, 除去率は平均85 %である。運転開始以来, 安定的に運転されている。

### むすび

本設備は, 2003年3月に給水を開始して以来順調に安定した運転をおこなっている。この運転結果より次のことが確認できた。

- 1) RO 膜の前処理として砂ろ過と UF 膜の組み合わせで安定処理がおこなえる。
- 2) 2段 RO 膜処理によりほう素は確実に水質基準 1.0 mg/L 以下の値を満足する。
- 3) 約半年に1回の薬品洗浄をおこなうことで安定運転を継続することができる。

### [参考文献]

- 1) 藤原正弘:日本の水道技術, 技術レポート No.32, p.15-17
- 2) Yasumoto Magara, et al., WATER HONGKONG'96 (1996)
- 3) 福岡市立小呂中学校ホームページ