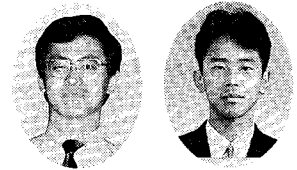


機能性用水について

— 磁気処理水 —

Functional Water

—Magnetic Water—



技術開発本部 第2研究室

長谷川 進

Susumu Hasegawa

桂 健 治

Kenji Katsura

The Water given a slight amount of magnetic energy or irradiated with infrared rays, etc. comes to have new characteristics such as low surface tension and small clusters. In Russia, the magnetic treatment of water has been studied, applied to various fields of industry, and regarded as an effective method. It is a promising technology, as the theory is scientifically established. This paper introduces the magnetic treatment technology and gives some example.

まえがき

水はあまりに身近で日常茶飯事に用いられているため、その特異性を実感することは少ないが、他の液体と比べるとかなり異常な性質を有している¹⁾。例えば、周期律上の同族化合物に比べて異常に高い沸点・融点・蒸発熱を示し、また、あらゆる液体の中で最も比熱が大きく、溶解性・洗浄性も優れている。この異常性を利用して、水はあらゆる産業分野で用いられてきた。比熱及び熱伝導率が大きいため冷却水として用いられ、また、多種多量の物質を溶かすことから溶媒あるいは洗浄液として用いられている。このような使用目的に対し、これまででは、水自体の性能を向上させるといよりも、むしろ装置汚染防止の目的からせいでい浮遊懸濁物質を除去する程度の処理で用いられてきた。

しかし、近年、水の特異な性質を改善しようという試みがなされつつある。半導体分野における超純水製造技術がそれである。LSIからVLSIとデバイス集積度の高度化に伴い、表面上の極微量の不純物が問題となる。そこで、水の洗浄性を高めるため、どこまで不純物を除去出来るか、即ち、水をどこまでH₂Oに近づけることが出来るかが話題となっている。この分野では、常にニーズが先行しているため、技術の進展には目ざましいものがあり、既に、耐溶出性金属を用いた高度超純水製造システムにより不純物をほぼ分析定量下限値に出来るまでになっている²⁾。

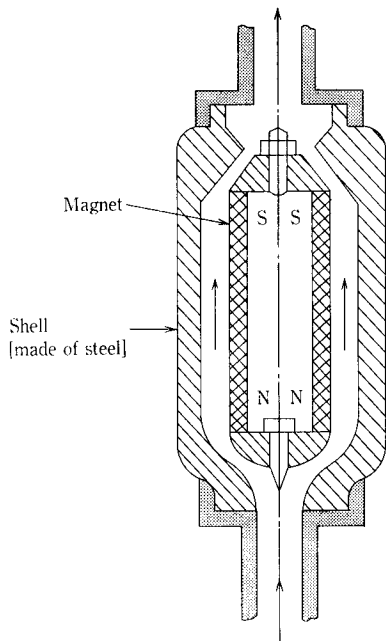
さらに近年、この超純水技術とは別に、水そのものの構造に変化を加え、水のもつ性能を向上させたり、あるいは全く新しい機能を付加しようという試みが注目されている。いわゆる「機能性用水の開発」である。水に、磁気、電流、超音波、遠赤外線等の微弱エネルギーを与えると、水あるいは水に含まれる不純物の構造になんらかの変化を生じ、様々な機能が発現する。この現象はかなり古くから認められているが理論解明が十分でないため汎用されるには至っていない。しかし、超純水製造技術等とは異なり、システムが簡単でしかも安価であるため、今後大いに期待される技術といえる。ここでは、微弱エネルギー利用造水技術の1つとして、磁気による水処理技術につき概説する。

1. 磁気処理技術の歴史

地球が1つの磁石であり、その磁場の中で生活する生物が磁場の影響を受けることは容易に推察できる。そのため、医療分野での磁気利用の歴史はかなり古く、紀元前にまでさかのぼるとも言われている³⁾。しかし、医療分野以外での利用は比較的新しく、磁気による水処理装置の発明は19世紀末になってからである。特許としては、「磁気処理水が水のスケール生成を抑制する」とした1945年のベルギー特許が最初とされている⁴⁾。その後、水の磁気処理に本格的に取り組んだのは旧ソビエトで、中でも、クラッセンがまとめた磁気処理に関する報文⁵⁾は磁気処理技術者のバイブルともいえるほど広く読まれている。彼は、水の磁気処理の利用事例とその効果を数多く紹介し、その有効性を結論付けている。適用分野は多岐にわたっておりその効果も様々である。中でも事例の多い分野は、コンクリート建造物、水垢防止、浮遊選鉱等で、いずれも凝集・分散に関わる分野である。このような事例を基に、欧米諸国、日本においても、調査、追試が行われたが、いずれも再現性に乏しく、十分な成果が得られないままに終わっている。特に、米国においては否定的に受け取られ、米国水道協会(WQA)主催の展示会では、磁気処理装置は効果が明確でないことから出展を禁じられるに至っている⁶⁾。わが国においてもやはり懐疑的側面は拭えないものの、多数のメーカーが磁気処理に関する研究及び装置の販売に注力しており、今後、理論的裏付けがなされるに従い、注目される技術と期待される。

2. 磁気処理の原理

現在においても磁気処理効果には一部疑問視される側面がある。効果がある場合もあれば無い場合もあるからである。これは、磁気処理技術がまだまだ十分制御できるに至っていないことを示しており、理論的解明の遅れを物語っている。現在のところ、磁気処理の理論付けは主にメーカーにより断片的になされており、十分信頼性のある系統だった理論はないといってよい。第1図に現在汎用されている磁気処理装置の一例を示す。メーカーにより多少構造に差異はあるが、磁界の方向と水の流れが直交すること、及び



第1図 磁気処理装置の断面構造図
Fig. 1 Cross sectional view of the magnetic treatment equipment

ポーラ・ウォーター・コンディショナー
ノルウェー製
磁場強度：6 000ガウス以上
標準通水流速：2 m/s
Pola water conditioner
Made in the kingdom of Norway
Magnetic flux density：more than 6 000 gauss
Flow velocity：2 m/s

適切な流速で流すことでは共通しているようである。

次に、磁気処理水にみられる各現象に対し、現時点における理論を紹介する。

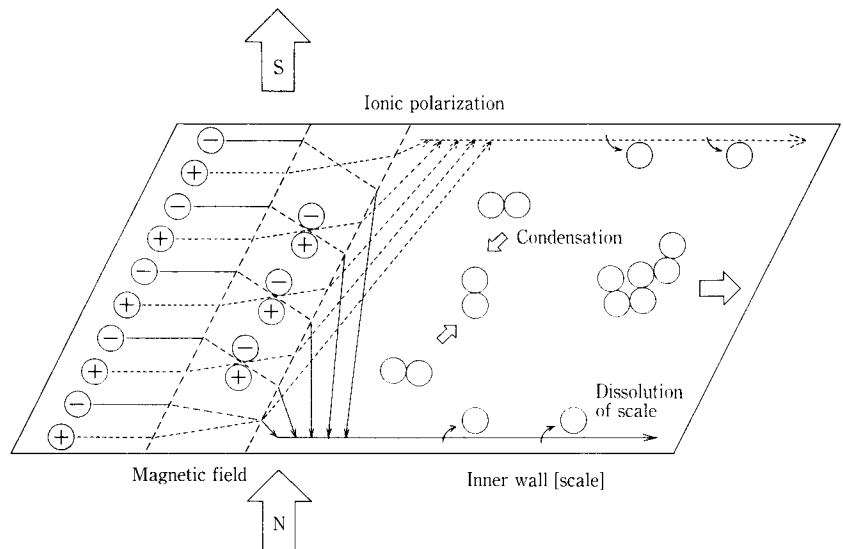
2. 1 スケール防止効果

2. 1. 1 ローレンツ力の影響

水は一般に多種多様の不純物を含んでいる。如何に超純水といえども大気中に放置すると瞬時に酸素、二酸化炭素等が溶解する。また、水は誘電率が大きい水溶液中では正負の電荷間に働く静電引力は弱められ電解質はイオンに解離しやすい状態にある。例えば二酸化炭素は水に溶解し次のように解離する。



このような荷電粒子を含む水が磁場を通過すると、荷電粒子にローレンツ力が働き、荷電粒子が流れと磁場の双方に直交する方向に移動する、いわゆるMHD（磁気流体力学：Magnetic Hydrodynamics）効果を生じる。（第2図）磁気処理によりMHD効果を生じること、ファラデーにより発見され、近年、ブッシュらにより室内実験で確認されている⁷⁾。このMHD効果により、イオンは電荷の状態により正負異方向に移動する（イオン分極）ため流体中央部で正負イオンの衝突が起こり結晶化が促進される。結晶化した粒子はさらに衝突により凝集をしながら流出され



第2図 磁気処理によるスケール防止効果
Fig. 2 The mechanism of the scale removal by the magnetic treatment

る。一方、イオンの結晶析出化により流体本体のイオン濃度が低下するため、管壁等に付着したスケールが溶解され、スケールの除去が進行する。

この仮説によると、スケール防止及び除去の機構がローレンツ電界の発生に起因していることになる。ローレンツ力 E は、真空中での光の速度を c 、粒子の電荷を e 、荷電粒子数を n 、速度を v 、磁束密度を B とすると、

$$E = \frac{ne}{c} v \times B$$

で表される。従って、磁気処理の効果は、荷電粒子数が多いほど、また、流速が大きいほど、磁界が強いほど顕著であると推察出来る。

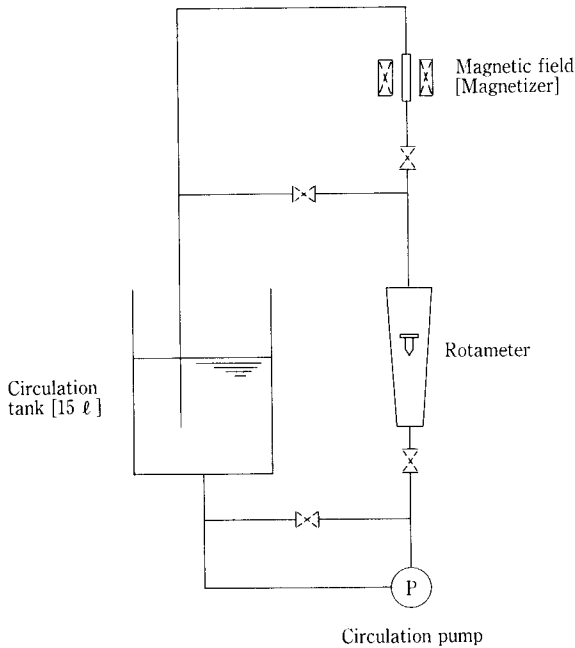
2. 1. 2 ζ電位の影響

水中にある懸濁粒子やコロイド粒子の表面電荷は通常負に帯電しているため、表面電荷と反対符号のイオンが粒子表面に吸着され、電気二重層を形成し、同符号のイオンは反発され対イオンとバランスしながら溶液側に拡散層を形成する。この電気二重層の存在によりζ電位が生じ、粒子同士の凝集に影響を及ぼしている。凝集性を高めるにはこのζ電位を特定の値にまで中和することが必要である。

2.1.1 で述べたように、磁場の中に水を通すとイオン分極し、電場を生じる結果となる。そこに電気二重層を有する粒子が通過すると、電場の影響を受け電気二重層に分極が生じζ電位が低下する。その結果、粒子同士の接近が容易になり凝集が可能となる。

2. 2 水分子構造の変化

水分子は通常分子集団（クラスター）として存在しており、このことが先に述べた水の異常性の原因となっている。現在、核磁気共鳴（NMR）分光法、X線回折法、中性子回折法、赤外線吸収による振動分光分析法、急速固化冷凍試料の走査型・透過型電子顕微鏡（SEM・TEM）による直接観察法、あるいはコンピュータシミュレーション



第3図 磁気処理装置フロー
Fig. 3 Schematic diagram of the magnetic treatment device

ン等の手法により分子構造の推定がなされている⁸⁾が、現時点においては、クラスタの大きさについての統一的な見解はなく、5~6個⁹⁾とも10~50個¹⁰⁾とも言われている。近年、¹⁷O-NMR スペクトル測定結果から、このクラスタが磁気処理により小さくなると報告されている¹¹⁾。微弱な磁気エネルギーによりなぜクラスタを小さく出来るのか、いまだ明確な理論は確立されていないが、なんらかの作用で水の電子がより高いエネルギー準位の軌道に遷移し、分子同士の親和力が低下したためと考えられている。クラッセンは水系に対する磁場の影響は共振型の現象に関連付けることが出来るとし、一定のエネルギー準位をもって振動している水分子やマイクロ粒子に最適周波数の磁界が作用すると、共振のエネルギーにより系の構造特性を変え得るとし、微弱エネルギーによる水分子構造の変化の可能性を示唆している⁵⁾。

ローレンツ力の作用による理論は、荷電粒子の磁界内通過が要件であるため、静止水における磁気処理効果については説明出来ないが、本仮説は、論理性は乏しいにしても、磁気処理による多数の現象をうまく説明することが出来る。例えば、浸透性の増大はクラスタが小さくなったためであり、粘性、沸点の低下は分子間力の低下に起因すると説明出来る。

3. 最近の磁気処理事例

3.1 水処理関連での実施例

配管の水垢防止、スケール除去については、海外で多くの成功例が報告されているが、わが国では驚くような効果は挙げていない。これは、原水水質に起因すると考えられ、海外の実施例は比較的硬質のスケールを生成し易い水質であるのに対し、わが国の水は軟質でもともとスケールを生じにくいいため効果が明確に現われないためと考えられ



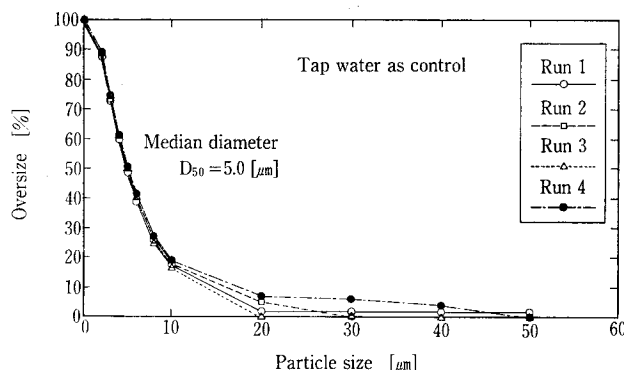
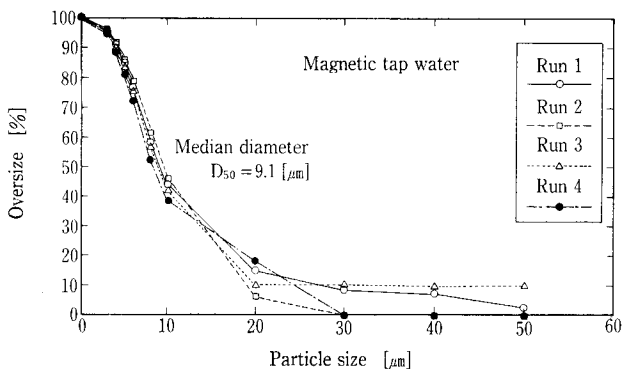
写真1 カオリン懸濁液沈降試験
PWC: ポーラ・ウォーター・コンディショナーにより70時間磁気処理
DW: 無処理の水道水
Photo. 1 Sedimentation test of kaolin suspension.
PWC: magnetic treatment water by Polar Water Conditioner for 70 hours
DW: tap water (control)

る。一方、赤水防止については顕著な効果が報告されている。給水タンクの水を3000ガウス以上の磁場に2~6 m/sで循環させることにより、2日目から赤水の赤味が消え始め、3日目には赤錆が黒錆に変化していることが確認されている¹²⁾。また、炭酸カルシウム水溶液に4500ガウスの静止磁場を10分間照射することにより、粒子の析出が抑制され、しかも粒子径は大きくなることが報告されている¹³⁾。この場合、磁場の強度が強いほど、また、照射時間が長いほど効果が大きいとしている。また、析出する結晶も磁気処理しない場合は単結晶系のアラゴナイトが主であるのに対し、磁気処理すると、三斜晶系のカルサイトが主になる。カルサイトは表面が滑らかであるため、滑り易く、付着しにくい。処理の効果は6日間持続したとされている。

回転円板排水処理の前処理として磁気処理を行い、無視出来ない効果を得たとの報告もある¹¹⁾。この場合、磁気処理流速は3 m/s以上必要であるとしている。これは、磁気処理が生物に対して正の効果を示す例であるが、逆に、1900ガウスの磁石をプールの水路に配置することにより藻類の付着が無くなる¹⁴⁾など負の効果を示す場合もある¹⁵⁾。

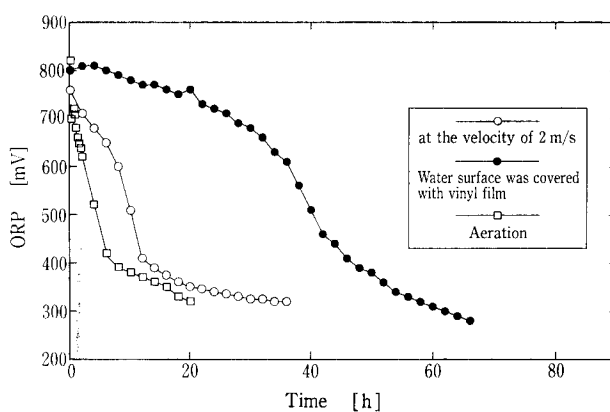
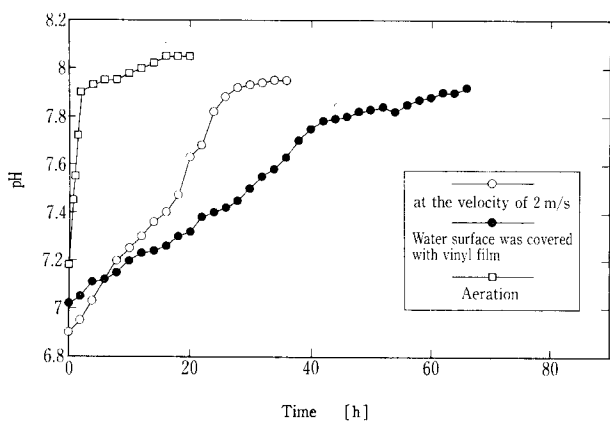
その他、磁気処理後の水にカオリンを添加して、沈降速度を観察した例がある¹⁶⁾。磁気処理水はフロックが大きく、沈降速度が速かった。この実験は、懸濁水を磁気処理したのではなく、水そのものを磁気処理しているところが注目される。磁気処理水のカオリン懸濁液沈降速度増速効果は著者らも確認している¹⁷⁾。

磁気処理試験装置の概略を第3図に示す。磁気処理部には、市販の日本セルボ(株)製ポーラ・ウォーター・コンディショナーを用いた。循環槽容量15 l、循環流量毎分15 l



第4図 粒径分布におよぼす磁気処理の影響

Fig. 4 Particle size cumulative distribution of kaolin suspended in the tap water and the magnetic tap water



第5図 pH および ORP の変化

Fig. 5 Time courses of pH and ORP

で70時間連続運転した。磁気処理部の内部構造が不明であるため、正確な磁気照射時間は確定出来ないが、水は4200回磁気処理部を通過したことになる。得られた磁気処理水と未処理水にカオリンを2 g/lの濃度で懸濁させ、沈降速度を比較した。30分静置後の懸濁液の沈降状況を写真1に示す。未処理の水道水に懸濁させたカオリンはほとんど沈降していないのに対し、磁気処理した水のカオリン懸濁液の沈降速度が速いことが分かる。第4図に未処理の水道水及び磁気処理水に懸濁させたカオリンの粒径分布を示す。粒径分布は、島津製作所製 SA-CP2-20型遠心沈降式粒度分布測定装置を用いて測定した。積算篩い上百分率50%での粒径が、未処理の水道水では5 μmであるのに対し磁気処理水では9.1 μmと大きくなっており、カオリン粒子粒径が、凝集して見かけ上大きくなっていることが分かる。沈降速度の上昇は、磁気処理による粒子凝集に起因するものと考えられる。ただし、著者らの実験においては、カオリン懸濁液凝集促進効果が、磁気をかけずに水を循環しただけの系でも認められており、効果が、磁気によるものか循環によるものか明確にされていない。

3.2 水の物性に対する磁気処理効果

水の物性に関する研究は比較的少ない。磁気による物性の変化が小さいと予想されることと測定が煩雑あるいは困難な場合が多い¹⁸⁾ためと思われる。磁気処理により水の分子集団(クラスター)が小さくなると予想される¹⁹⁾ことから沸点、浸透圧²⁰⁾の上昇及び粘度、表面張力、誘電率の低下が予想される²¹⁾が、実測例は少ない。誘電率については、2000~3000ガウスの磁気を24時間照射し、非接触型の高周波測定器で測定した例がある²²⁾。磁場の作用下では誘電率の若干の増加は認められるものの、磁場を取り除くと効果は無くなる。蒸発速度に関しては効果が無いと報告されている²³⁾。また、空気飽和蒸留水を磁気処理してpHが0.1程度上昇、ORPが約30 mV、溶存酸素濃度が0.4 ppm程度低下したと報告されている²⁴⁾が、pH、ORPには種々の反応が関与しており測定条件によっては逆の効果も認められる場合もある²⁵⁾。

第3図に示す磁気処理装置により循環磁気処理した場合の循環水のpH及びORPの経時変化を第5図に示す。pHで約1の上昇、ORPで約400 mVの低下が認められ

た。しかし、この pH 及び ORP の変化は単に空気循環槽を曝気するだけでも達成されていること、また、逆に、循環槽表面からの空気の巻き込みを抑制することにより変化が緩慢になっていることから空気の溶解の影響が大きいと推察される。このように、磁気処理には種々の要因が複雑に影響し合っているため、効果の判定には注意を要する。

現時点においては、水の物性に対する磁気処理の効果には不明瞭なものが多いが、効果の再現性が得られ、かつ制御出来るようになれば、磁気処理技術の適用分野は大きく広がると言える。

む す び

水があらゆる産業分野で利用されている以上、いずれ、より高度な機能を有する水が求められる時代がくると考えられる。現在、磁気処理はどちらかという溶解不純物に与える効果を利用している場合が多いようであるが、今後さらに、水そのもののもつ特性への効果を調査し、その制御方法を確立していくことが必要になるといえる。近年、「新水処理技術協会」「ウォーターデザイン研究会」等が設立され、民間企業の中で活発な調査研究が進められている。また、(財)造水促進センターでは、1990年度より、日本自転車振興会からの補助事業として、東京大学鈴木基之教授を委員長とする「機能性用水の研究開発」分科会を設置して、産学共同による調査を実施している。磁気処理技術も、単に効果のみを追求する時代から、積極的に水を造る時代に入ったといえる。

尚、本稿は、(財)造水促進センターの許可を得て、造水技術ハンドブック及び前述「機能性用水の研究開発」分科会の報告書の内容を要約したものである。

〔参考文献〕

- 1) 今井寅二郎：化学経済，No. 11, 65, 1991
- 2) 牛越健一：BREAK THROUGH, No. 69, 51, 1992
- 3) 岡井治：磁場の生体及び生物への応用，326, 1992
- 4) イエ・エフ・テベニヒン（遠藤敬一訳）：動力装置の水の磁気処理と超音波処理，日ソ通信社，1985
- 5) ヴェ・イ・クラッセン（遠藤敬一訳）：水の磁気処理，日ソ通信社，1984
- 6) NEWSLETTER, No. 557, Water Quality Association, 1989
- 7) K. W. Busch, et al. : Corrosion, 211, 1986
- 8) 綿抜邦彦ほか（監）：新しい水の科学と利用技術，サイエンスフォーラム，1992，東京
- 9) 荒川泓：水・水溶液系の構造と物性，北海道大学図書刊行会
- 10) H. Tanaka, et al. : J. Chem. Phys., Vol. 91, 6318, 1989
- 11) 増田純彦ほか：環境技術，Vol. 21, No. 2, 103, 1992
- 12) 平間豊ほか：電気学会，MAG-88-155, 53, 1988
- 13) 東谷公ほか：粉体工学会秋期研究発表会講演要旨集，203, 1991
- 14) 江原勝夫：化学工学，Vol. 55, No. 9, 32, 1991
- 15) 平間豊ほか：電気学会，MAG-89-147, 47, 1989
- 16) 武田福隆：水処理技術，Vol. 30, No. 5, 1, 1989
- 17) (財)造水促進センター：平成4年度機能性用水研究開発報告書，1993
- 18) 岩井陸夫：食品と開発，Vol. 27, No. 7, 6, 1992
- 19) 松下和弘：月刊フードケミカル，No. 12, 75, 1988
- 20) 渡辺清紀：水の磁気処理と磁化水の有効利用，技術情報センター
- 21) 武田福隆：水処理技術，Vol. 30, No. 10, 1, 1989
- 22) 江原勝夫：食品工業，No. 2, 25, 1992
- 23) 田中政史：「不思議な水」の構造，「水のサイエンスと水ビジネスの動向を探る」講演会，工業技術会，1991
- 24) 松崎五三男：配管・装置・プラント技術，No. 2, 4, 1991
- 25) 松崎五三男：磁気処理水の効果と作用のメカニズム，「水のサイエンスその応用」講演会，1992