

磁気水の神秘を解明するため、恒温装置を使った水質実験を大学や公的機関で実施した。
水質分析データやプランクトンに対する顕微鏡動画を一般公開する。
驚くべき結果が出た。
3つの磁気水特性を発見(特許予定)したので、本文で詳しく解説した。
追試で確認してほしい。(WENRI)

超学際的な研究課題としての磁気応用

—興味ある磁気応用—

岩 本 雅 民

香川大学工学部 高松市幸町 1-1

(1998 年 4 月 3 日受理)

Exotic Applied Magnetism—Transdisciplinary Research Targets—

Masatami IWAMOTO

Faculty of Engineering, Kagawa University, 1-1 Saiwai-cho, Takamatsu 760-8526

(Received April 3, 1998)

Synopsis:

This paper discusses the exotic magnetic phenomena that are unfamiliar to cryogenic and superconducting engineers. The magnetic effects on water, fuel and air are discussed, then the magnetic effects on chemical reaction, polymerization and crystal growth. Further experimental studies are necessary for a better understanding of these effects, but exotic applied magnetism is a treasure trove of seeds for creating new industry and new business where superconducting magnets will play essential roles.

Keywords: applied magnetism, superconducting magnet, water, magnetochemistry, polymerization

1. はじめに

磁気応用は超学際的である。電気工学から、情報工学・医学・生物学・化学・農学・食品学などの分野にまたがる。すべての物質は磁性をもっているから¹⁾、磁場はなんらかの効果があるはずである。

最近の超電導には閉塞感が漂っていないか。高温超電導の実用化が難航していることや、2000 年までに終了する多くのプロジェクトの次期計画がはっきりしないのが原因であろう。超電導の‘2000 年問題’である。最近の低温工学誌の巻頭言でも、超電導応用の新展開や新産業創出の必要性が力説されている^{2,3)}。

超学際的な磁気応用は未開のフロンティアである。玉石混淆でリスクはあるが、ビジネスシーズの宝庫である⁴⁾。新たなプロジェクトにできないだろうか。

目次の代りに、この論文で述べる興味ある磁気応用についてまとめて Table 1 に示す。筆者が 40 年間にわたって収集した資料を整理し、勇気ある発言としてまとめた。願わくは、読者が‘こんなものは学問では

ない’と言って拒絶反応を示さないことを…。

この分野は正式の論文発表がはばかれるムードもある。伝聞情報も多い。出典を明記できなかったものもあることを断っておく。この論文は、磁気化学 (magnetochemistry) 的な‘興味ある磁気応用’について述べる。生体磁気学 (biomagnetism) については別の機会にゆずる。

2. 高磁場と高勾配磁場の利用

2.1 超電導マグネットの進歩

‘超電導は高価で厄介で故障ばかり’と思い込んでいる人がまだ多い。応用ターゲット分野の関係者の超電導アレルギーを払拭する必要がある。最近はその取り扱いやすいマグネットができてきていることの宣伝が必要である。

- ・量産される安価で使いやすい MRI 超電導マグネット
 - ・液体 He がいない冷凍機一体型超電導マグネット
- これらは、わが国で開発された GM 式小型 He 液化機と高温超電導リード線の適用で実現された。他分

Table 1 Exotic applied magnetisms.

		評 価	学 界	評 価	学 界	評 価	学 界	評 価	学 界
		応 用	× 未開拓	△ 試用	○ 学界が承認	◎ 研究活発	○ ビジネスあり	◎ 本格ビジネス	
分類	磁気応用	学界	応用	コメ ント					
磁気化学	HGMS	○	○	汚水処理、家庭浄水に適用されると市場大					
	水の磁気処理	×～△	○	潜在的な市場大、科学的なお墨付きが必要、					
	水の電場処理(参考)	△	×	応用可能性大、追加検証必要					
	液体 磁気脱塩・磁気脱イオン	×～△	×	可能性あり					
	水への磁気力	○	×	応用開発はこれから					
	磁性流体	○	○	もっと応用研究を活発に					
	石油燃料の磁気処理	×	○	科学的研究が必要					
	溶存酸素への磁場効果	△	×	発展可能性あり					
	空気 酸素分子への磁気効果	○	×～△	応用はこれから					
	空気の磁気フィルター	△	×	酸素富化や塵埃フィルターなどの可能性は？					
	化学 高分子の磁場配向	○	×	もっと応用研究すべき、医療と食品へ応用は？					
	化学反応 化学反応への磁場効果	○	×	もっと応用研究すべき					
	燃焼への磁気効果	△～○	×	効果あるかを研究					
	結晶 鉄鋼の磁気処理	△～○	△	決め手となる効果ないか？ もっと研究必要					
生体磁気学	結晶成長への磁気効果	○	◎	Si単晶成長でヒット、他の応用(薄膜など)は？					
	プラズマ 磁化プラズマ	○	×～△	もっと研究すべき、半導体プロセスに応用を					
	プラズマ磁気分離	○	×	米国のウラン分離は中止、他に応用はないか？					
	生体 生体中の磁性微粒子	◎	×	応用はこれから					
	生体への磁気効果	△	×	現象研究必要、医学応用できるとインパクト大					
	電磁波の人体への影響	×～△	△	電磁波防止ビジネスが成長？					
	医学 磁気共鳴	◎	◎	ビジネス確立					
	磁気力の医学応用	○	○	もっと応用ないか？					
	磁気刺激	○	○	診断用					
	磁気絆創膏・磁気バンド	△～○	◎	ビジネス先行					
	磁気治療	×～△	○	認可治療器から漢方の世界まで					

野の技術者へ周知すると同時に、低温工学会会員が自ら使用して、磁気応用を開拓する必要がある。

2.2 高勾配磁場の発生

高勾配磁気分離(HGMS)は、極めて局所的にはあるが、高勾配磁場を発生する優れた方法を提供している。既に多くの解説がある⁵⁻⁹⁾。分離だけでなく、磁気応用の研究に、もっと広く適用されるべきであろう。

高勾配磁気分離を提案したのは、米国MIT大学のKolm教授である¹⁰⁾。彼はMIT大教授で雄弁家である。彼に言わせると、MIT大学の前を流れる「チャールス河の水を高勾配磁気分離で処理して、ボストン市民の水需要全部を賄ってみせる！」ということになる。これはプロジェクト企画のキャッチフレーズとして参考にした。

Fig.1のように、一様な磁界 B_0 (T)の中に透磁率 μ の磁性体の細い線材(半径 a)をおいた場合、その

線材表面の点 P_1 に、最大の磁気勾配が生じる。磁気勾配は、飽和磁化を B_m として、次式で与えられる。

$$(\nabla B)_{\max} = \frac{2B_m}{a} \quad (1)$$

ここで、線材の直径0.2 mmとすると、磁場勾配は約4万 T/mになる。これは通常磁石がつくる磁気勾配より2桁大きい。ただし、この磁気勾配が得られるのは、線材のごく近傍の空間だけであるが…。

注意すべきは、Fig.1で線材の表面の点 P_2 に、逆方向の最大の磁気勾配(大きさは式(1)の半分)が生じて、反磁性の微粒子を吸引できることである。銅イオンや有機物は反磁性であり、磁気分離できる可能性がある。

溶存イオンや分子の多くは、それ自身は磁性をもたないとしても、強い磁性をもった他の物質と結合して磁性クラスターを形成していることも考えられる。最初から磁気分離‘できるはずがない’とあきらめて

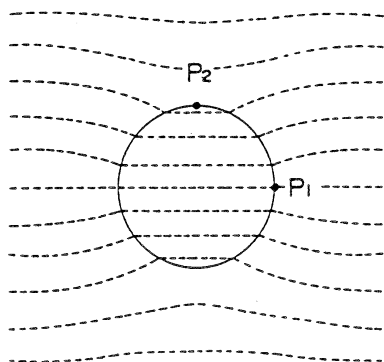


Fig. 1 Flux lines around a magnetic wire magnetized by uniform magnetic field.

はならない。

既に磁気フィルター¹¹⁾として実用されている。その他の可能性には、汚水処理¹²⁾（金属イオンと凝集共沈：スカベンジャー）、石炭の脱硫・脱灰¹³⁾、海水のウラン分離、赤潮処理、空気の塵埃除去^{14,15)}、空気の酸素富化¹⁶⁾、混合溶液の磁気分離、溶液中のイオン分離などがある。さらに、ここで述べる未知の磁気応用：水の磁気処理、空気の磁気処理、高分子液体への磁気効果、生物細胞への磁気効果などにも高勾配磁場を適用すべきである。

汚水処理では、磁鉄鉱粉末を投入して磁気処理する方法も試みられている¹⁷⁾。最近のニュースとして、水道水の浄水処理で、アルツハイマー病との関連から、今までの硫酸 Al 系の凝集剤を止めて鉄に切り替える動きがある¹⁸⁾。磁気分離が応用される余地がある。

3. 水の磁気処理

磁気処理水、すなわち、磁場に暴露した水に何らかの効果を期待する考え方がある。水は単なる化学式 H_2O ではない。磁場効果の要因として：H は核磁気をもつ、 H_2O が立体構造で振動する、水素結合で水分子が繋がり高分子状態になっている、溶存イオンや高分子の周りに水分子が配列した状態になっている¹⁹⁾、などがある。

3.1 CEPI 社の特許

磁気処理水装置は、昭和 30～40 年代の新鋭火力発電所のボイラー給水や水冷発電機の冷却水用として、採用の可否が議論された。飲料水処理装置としても話題になった。筆者もこの問題にいくどか遭遇した。営業屋に言わせれば「磁気処理水のニーズはいくらでもある。科学のお墨付きさえ貰えれば、いくらでも売れる」のである。

多くの磁気処理水装置が市販され使用されている。ビジネス先行である。その真偽性について多くの論議を呼んだ。米国ではその効果が裁判沙汰になった例もある。

技術的には、CEPI 社の特許製品が有名である^{20,21)}。その磁石構造を Fig. 2 に示す。単に永久磁石の作る磁場の中に水を通すだけの装置である。

その特許がいう効果は、缶石（ボイラースケール、湯あか）防止と腐食防止である。この他に、医療用に使えば胆石・尿道結石・リウマチに効果ありともいう。

CEPI 社の特許製品について、東大・東北大・山形大・公害資源研究所で試験された²²⁾。このような大規模な磁気処理水の研究はこれが最初で最後である。

実験結果は、否定・肯定、両方が得られている。注意すべきは、肯定的な結果も得られたことである。生成スケールが軟質で分散的になるという効果は確からしい。なお、CEPI 社の特許は、わが国では無効が確定している。

米国ベンチャーが磁気流体式と称する水処理装置を発売した。アノードと称する電極付きだが、外部電源不要でスケールの除去・防止と腐食防止の効果があると宣伝していた²³⁾。この装置を使って秋田大と三井造船が地熱熱水パイプに適用・研究した結果によると、磁気処理した場合には実験パイプにシリカの付着がほ

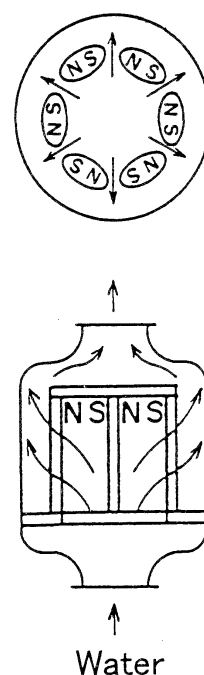


Fig. 2 CEPI's magnetized water system.

とんどみられなかった。熱水の沈殿槽でも、磁気処理した場合はシリカスケールは繊維状でシャベットのようになり、簡単に水ジェットで洗い流すことができたという²⁴⁾。

3.2 旧ソ連における磁気処理水の研究

磁気処理水を最も活発に研究と実用化をしているのは、旧ソ連である。それは科学的（定量性と再現性の追求）に見える。Fig. 3 にその電磁石装置の一例を示す。多数の専門書があり、わが国で翻訳されている²⁵⁻²⁷⁾。

永久磁石式のものばかりでなく、電磁石式の磁気処理水装置が年間数千台も生産され使用されている。科学アカデミーの協力のもとに、水のほとんどの性質（粘度・表面張力・導電率・誘電率・pH など）について、磁気効果の実験結果が発表されており、その多くは肯定的な結果となっている。

理論的な根拠については、水の分子振動、水分子間の水素結合、水中の溶存ガス、特に酸素、水溶液中のイオン、コロイド状強磁性粒子やその他の粒子などに対する磁気効果で説明している。

例えば、水の磁気処理によるスケール（水あか）防止の原理は、水中の結晶核が磁気力で互いに凝縮成長することによるとしている。結晶核の粒径が臨界値 $0.5 \mu\text{m}$ を超えると、水中のミネラル成分が懸濁状の浮遊スラッジに成長していく。浮遊スラッジは雪のように柔らかく管壁に堆積する。結果として、壁面への結晶成長（スケール）が抑制されると説明する。

腐食防止効果は溶存酸素量の減少と磁鉄鉱 (Fe_3O_4 , 黒錆) 膜の形成によって説明されている。200 G の磁場で 10 % 程度の溶酸素量の低下が生じる。磁気処理装置のつくるローレンツ電界の電極反応による電子の供給によって還元反応が起こって、褐鉄鉱 ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, 赤錆) から磁鉄鉱 (Fe_3O_4 , 黒錆) へ還元されるとする。この黒錆は安定で、保護膜となって防食効果を発揮する。

旧ソ連で磁気処理水の効果とされたものの例を

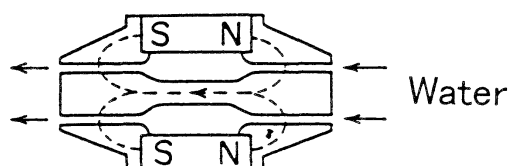


Fig. 3 An example of magnetized water system in the former USSR.

Table 2 Positive effects of magnetized water studied in the former USSR.

- ・セメントや石膏の硬化で強度が 10~40 % 向上
- ・コンクリートの強度が 10~25 % 向上、耐寒性も向上
- ・Ca 炭酸塩硬度水の湯あか防止（硫酸塩硬度水には効果なし）
- ・水の浄化に対して沈降速度の増大
- ・セラミックや煉瓦の強度向上と気孔率の減少
- ・製紙工業で紙強度向上と繊維の相互結合度改善
- ・人造繊維とゴム工業で洗浄回数と水量を半分に
- ・Mn 鉱・銅・Mo 鉱・石炭の浮選
- ・鋼の焼入用の水ソーダ溶液
- ・研削における冷却水
- ・石油掘削の注入水において地層鑿孔の閉塞防止
- ・ぶどう酒の製造
- ・農業における灌漑水や散水
- ・種子の水浸け
- ・土壌の脱塩

Table 2 にまとめた²⁸⁾。

3.3 どう考えるべきか？

ソ連の磁気処理水の話に当惑している会員もおられるだろう。しかし、わが国でも、配管・防食・水施設・農業²⁹⁾などの学界で研究されている³⁰⁾。私見として「磁気処理水は可能性を秘めている」と考えて真面目に対応した方が良い。磁気処理水は緩和時間が変わるという主張もある。磁気共鳴やレーザ分光などのハイテク計測技術が飛躍的に進歩している。探求すべき課題である。研究の最大の障害は学界の拒絶反応である。

磁気処理水装置は、有害でなく高価でもなく構造簡単堅牢である。現場責任者が効果を期待して設置するのは妥当な判断である。研究者に相談してもまともにとりあげない。議論するより使った方が早いということになる。

水の Ca 高度が高い欧米では、磁気処理水のスケール防止効果への期待が大きい。わが国では、スケール防止と並んで、防食効果（赤水防止³¹⁾）に関心がある。

最近、飲用水の給配水管系の維持管理に、化学薬品を忌避するユーザの要求が強い。効果があれば、磁気処理水が使用される可能性もありうる。磁気成水器と称して家庭用の水道につける簡単な装置が販売されている³²⁾。いわゆる健康水をつくる。

参考まで、「電場の特殊な効果」「電場処理水」も研究されている。「浅川効果」として有名である^{33,34)}。

4. 磁気脱塩と磁気脱イオン

海水の磁気脱塩について、米国政府機関で研究された。しかし、否定的な結論で終わっている³⁵⁾。

米ニューヨーク州立大は、紫外線またはX線照射を併用することによって3.5%の食塩水から15%のイオンを除去できたという実験結果を発表し、当時の注目を集めた^{36,37)}。しかし、その後の進展は聞かない。海水脱塩の実用性はないとしても、脱イオン効果があれば面白い。

磁場でイオン分離や成分の分離ができる可能性も否定できない。MIT大で実験デモを見たことがある。

5. 液体に対する磁気効果

5.1 水に対する磁気力

水は磁気力を受けて液面が変形する。5 T 程度の静的な強磁場の加えられた部分の水面は大きく凹む。8 T の磁場では真ん中が干上がって両側に水の壁ができる。Fig. 4 はそのデータの例である³⁸⁾。モーゼのエジプト脱出の古事を思い出させ、モーゼ効果と呼ばれる。チューブの中を流れる水流を磁場でストップする実験もある。溶存酸素の影響も実験されている。応用開発はこれからである。思わぬ応用があるかもしれない。

磁場が生体の血液や体液、細胞水に影響している可能性がある。水と磁気力の関係を研究すれば磁場の生体効果が解明されるかもしれない。

なお、このデモ実験が5~8 T では高磁場すぎると

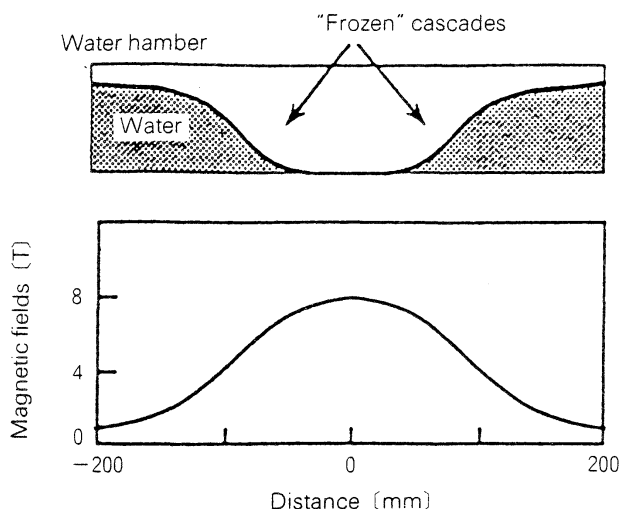


Fig. 4 Distortion of water surface caused by magnetic pressure.

失望される方がいる。しかし、超電導マグネットは高価でもなく簡単に入手できる。また、この程度の $B \cdot \nabla B$ は、局所的ではあるが、高勾配磁気分離装置で容易に発生できる。

5.2 磁性流体

磁気力を受ける液体として磁性流体がある。既に多くの解説がある。興味ある新素材として、ここでとりあげる。

磁性流体とは、液体の中に $0.01 \mu\text{m}$ の磁性超微粒子を混入攪拌して作られた液体である。液体としては水性から油性のものまでいろいろな種類がある。超電導発電機の He 供給部軸シールへ適用された。

わが国のベンチャーのフェローテックは、磁性流体を使ったコンピュータの HDD 軸シールで成功し、有名になった³⁹⁾。お金儲けの上手な人は着眼点が違う。

その他、ディスプレイ、加速度計、ダンパーなどへの応用のアイデアがある。スピーカのボイスコイルダンパーとして試用された。磁場を印加した磁性流体で比重選鉱ができる。キュリー温度が異なる複数の磁性微粒子を混ぜて作った磁性流体は、キュリー温度の組合せでコード付けできる。重油に混入して、海洋投棄油や廃棄油を識別追跡できる。新素材はアイデアの宝庫である。学生卒論テーマとしてももっと研究して欲しい。

6. 燃焼に対する磁気効果

6.1 石油の磁気処理

燃料の炉前処理として磁気処理を行う考え方である。排出ガスと燃費の改善効果がねらいである。

火力発電所への適用性を調べるために、電力中研が中心となって石油の磁気処理の研究した例がある⁴⁰⁾。NO_x の排出量には変化がなかった。しかし、煤塵排出量の低減に効果があったというデータがでている。

秋田大では磁気応用の研究に伝統がある。軽油に対する磁場の効果について低磁場ながら地道な研究が粘り強く続けられている⁴¹⁾。超電導マグネットを使って、もっと強磁場で研究したらどうなるか？ 興味がある。

燃料油磁化装置が発売されている。学会論文として公表されている⁴²⁾。それによると、磁気処理された燃料油は炭化水素群が磁化されており、煤塵防止、NO_x 防止、燃焼効率向上の効果があるという。日本発明振興協会の優良発明賞が授与されている。

磁化された空気は燃焼の改善に効果があるという主

張がある。磁気処理空気である。この種の磁化装置は、電力会社やガス会社、いろいろな企業の自家発電所や工場ボイラーに設置されて使用されているという。

カー用品店では、自動車エンジンに取り付けるガソリンの磁気処理装置が売られていた。その効果は燃費改善であるという。

6.2 燃焼に対する磁場の効果

燃焼反応に対して磁場が影響する。Fig. 5 に示すローソクの実験が有名で、炎を磁場によって変形させ消すことができる⁴³⁾。実験の結果、燃焼に対しては磁場と磁場勾配の積 $B \cdot \nabla B$ が効いていることが判った。

この現象は、次のように解釈されている。空気中の酸素は分子磁性を持っている。このため磁気力によって空気中の酸素分子が固定された状態になる。すなわち、酸素の障壁ができるらしい。この磁気バリアは空気を吹き付けてその存在が確認できる。

白金カイロの燃焼温度が磁場の影響（磁場印加で燃焼温度が低下）を受ける。液体の溶存酸素が磁場の影響を受ける⁴⁴⁾。このことから、空気中の酸素あるいは溶液中の溶存酸素が係わっている現象には、磁気効果が表れる可能性がある。たとえば、生物も酸化反応で生きているから磁気効果があるかもしれない。

なお、酸素分子の磁性を利用した磁場による酸素計は古くから実用されていた。

7. 化学反応への磁場効果

重合反応における磁場効果と、化学反応そのものの磁場効果の両面から研究されている。

7.1 高分子の磁場配向

1~10 T の磁場によって高分子が配向することが、1962 年に Dorfman によって予言された⁴⁵⁾。1960 年代の米国応用物理学会誌 (J. Appl. Phys.) の表紙に、液晶が磁場によって美しいパターンで配向することを示した写真が掲載されたことを記憶している。これは有機分子の磁気異方性によって磁場配向すると考えられる。

配向による結晶成長の制御や高配向化、さらには配向化による機能制御の可能性がある。この原理を拡張できれば、合成繊維をつくるとき、磁場を利用して繊維軸の方向を揃えることができるかもしれない。Table 3 に研究結果の例を挙げておく。

寒天やプリンを磁場配向したら味はどうか？豆腐やこんにゃくはどうか、乳酸飲料はどうか…な

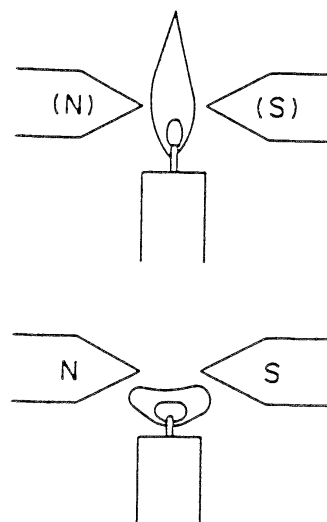


Fig. 5 Magnetic effect on a candle flame.

ど。磁場配向は、食べ物やお菓子などに適用できるかもしれない。

7.2 化学反応への磁場の影響

過去には、数百 T の強力な磁場を用いない限り、磁場によるゼーマン分裂の影響は、熱エネルギーで乱されて、化学反応には効かないと考えられた。化学反応や生体反応に対する磁場効果はないと考えられた。

現在では磁場効果がある化学反応が発見されている^{50,51)}。化学反応にはラジカルが関係している。ラジカルには対を作らない不対電子が 1 個存在している。不対電子はスピンを持っているから、磁場の影響を受ける。

磁場によってラジカル対の寿命が変化する^{52,53)}。ラジカルは反応性に富み短寿命である場合が多い。その結果、生成物の収量が変化する。熱エネルギー的に無視できる小さい磁場で化学反応を制御できることになる。

最近、レーザや磁気共鳴を用いてラジカル対の寿命を直接測定できるようになった。ある種のラジカル対の寿命は磁場中で 10 倍も長くなることが判った。

植物の光合成反応の第一段階にラジカル対が生成する。生体内反応にもラジカル反応が存在する。癌や老化もラジカルが関与している可能性がある。既に観測されている生体の磁場効果が、理論づけられるかもしれない。化学反応への磁場の効果の例を Table 4 に示す。

生体化学反応の触媒である酵素反応にも磁場の影響があるはずと考えられて、多くの実験研究がされている。

Table 3 Magnetic polymerization.

- DNA, ポリペプチド, 液晶高分子が磁場配向⁴⁶⁾
- 血液凝固因子: フィブリノゲンは 20 T でゲル化させると繊維は磁場方向に配向。凝血力が弱まる⁴⁷⁾。
- 原研: 強磁場で有機高分子の配向化による結晶成長をコントロール
- 常磁性有機化合物 DPP や反磁性有機化合物ピナシアノールなどの微結晶が 1 ~ 1.5 T 程度の磁場によって高配向化
- 多糖類系の高分子である寒天を 10 T の強磁場の中で冷却して固化させると, 繊維状分子として磁場方向に高配向
- 高分子基盤技術研究組合: ポリアメゾン (プラスチック) を 10 T の磁場中の成形装置で棒状サンプルを作り, その弾性率は 4 倍, 強度はポリカーボネートの 25 倍で 50 GPa (50 万気圧), これはアルミの 70 GPa に近い⁴⁸⁾。
- 蛋白質工学研究所 (大阪): エルビウムを付け加えた蛋白質を磁場で配向させ, らせん状の人口蛋白質を合成⁴⁹⁾
- 原研: 微生物を 10 T の磁場で 30 分曝露すると, 細胞内蛋白質および核酸成分がリリースし, その浸出量は曝露時間とともに増大, 磁場による細胞膜の機能変化による。
- 寒天の磁場配向

Table 4 Magnetic effects on chemical reaction.

- 界面活性剤の分子が数十個球状に集まったミセルの中での光励起された分子による水素原子引抜き反応
- 水素原子の核スピンを変えてしまう触媒反応
- 光触媒による水からの水素ガスの発生
- カタラーゼと過酸化水素 (H_2O_2) との酵素反応
- 植物の光合成や DNA 合成反応などの生体反応

ラジカル対機構によれば, 外部磁場のみならず核磁気も化学反応に影響を与える可能性がある。同位体には核磁気 (スピン) を持つものと持たないものがある。核磁気の有無による磁気同位体効果が存在する。この原理で同位体分離ができるかもしれない。天然ウランの磁気同位体効果を用いたウラン濃縮が可能になるかもしれない。この利点は, 分離を液体状態で行えることである。

化学反応に対する磁場の効果の研究は, まだ始まったばかりである。既に述べたように, 安価で扱いやすい超電導マグネットが利用できるようになった。また, レーザ分光など新しい原子分子レベルのリアルタイム計測法が進歩している。楽しみである。

8. 材料の磁気処理と磁場中の結晶成長

重合反応への磁気効果と類似なものに, 鉄鋼材料の磁気処理と磁場中結晶成長法がある。

8.1 鉄鋼の磁気処理

磁性材料の熱処理中に磁場をかけて特性向上させる

ことは, 磁場焼鈍として知られている。また, 鉄鋼材料の機械的性質を向上させるために, 磁場処理 (magnetic quenching) が研究されている⁵⁴⁾。降伏点と抗張力が増大し伸びが減少する。旧ソ連で系統的に研究された。鉄は磁性をもつから, 効果があることは理解しやすい。

なお, 鉄鋼以外の金属材料についても磁気処理はもっと研究されてよいように思われる。

8.2 結晶成長と磁場

結晶成長に磁場が影響する。半導体 Si の単結晶を引き上げ (チョコラルスキー法) で, 磁場を印加すると, 欠陥や転位の少ない単結晶が得られる。磁場の熱対流抑制効果によるとされる。わが国で開発された結晶成長法で, 今後の超大口径 Si ウエハの製造では, 必須の結晶成長法となる可能性がある⁵⁵⁾。

結晶成長のブリッジマン法にも常伝導磁石の磁場が適用されている。エピタキシ法や薄膜成長法⁵⁶⁾などにももっと磁場を, できれば超電導マグネットを適用して欲しいものである。

9. 磁場のプラズマ応用

半導体プラズマプロセス装置には永久磁石や電磁コイルが使われている。しかし, 半導体関係者の超電導アレルギーは根強い。これを払拭しなければならぬ。

安価な MRI・NMR 用の量産マグネットを用いて, 高磁場プラズマの応用開拓をもっと期待したい。

- 真空磁気拡散完全電離プラズマ (pumped diffusion)

- ・ICR プラズマ同位体分離プロセス⁵⁷⁾
- ・高磁場エレクトロンサイクロトロン共鳴 (ECR) プラズマ
- ・高磁場イオンサイクロトロン共鳴 (ICR) プラズマなどがターゲットである。

プラズマではないが、半導体の電子ビーム転写の収束磁場に超電導を適用した例がある⁵⁸⁾。また、100 GHz 級の唯一高周波発生源であるジャイロトロンには超電導マグネットが適用されている。もともと核融合プラズマ加熱用であるが、一般の高周波加熱や焼結への適用も期待される⁵⁹⁾。ビームへの超電導応用として加速器がある。これらは、既に大規模な開発が進んでいるから、ここではこれ以上言及しない。

10. む す び

‘興味ある磁気応用’を科学的に研究すべき時代になっている。最大の障害は学界の拒絶反応にある。追実験もせずに「そんなはずがない」と拒絶すべきではない。安価で使いやすい超電導マグネットでもっと高磁場での実験もできるようになった。レーザや分光などハイテク計測技術も進歩している。この論文によって、学界のアレルギー反応をいくらかでも緩和できたであろうか。

‘興味ある磁気応用’はビジネスシーズの宝庫である。超電導の発展のために、低温工学会のリーダーシップで「興味ある磁気応用の徹底的究明」プロジェクトをスタートできないか？ みんなで渡れば恐くない。食品や酒・飲料なども磁気応用の研究対象となりうるだろう。

文部省も通産省も地方自治体も、新産業・新事業の創出の大合唱である。新産業創出は国の施策である。新産業につながる研究テーマの提案を求めている。研究リソース獲得のチャンスは十分ある。

なお、興味ある磁気応用のもう1つの大きなターゲットである生体磁気 (biomagnetism) については、別の機会に論じたい。

参 考 文 献

- 1) A. アーンシャウ (井口洋夫ら訳)：磁気化学入門，培風館 (1974)
- 2) 入江富士男：低温工学 **33** (1998) 1
- 3) 穴山 武：低温工学 **32** (1997) 651
- 4) 岩本雅民：興味ある磁気応用，ベンチャー支援技術後援会予稿集 (1998)
- 5) 小原健司：生物物理 **29** (1989) 151
- 6) P.G. Marston: The use of electromagnetic fields for the separation of materials, World Electrotechnical Congress, Moscow (1977)
- 7) R.R. Oder: IEEE Trans. Magn. **MAG-12** (1978) 428
- 8) T. Gui-bing, et al.: 低温工学 **28** (1993) 344
- 9) 小原健司：1997 年度秋季低温工学・超電導学会講演概要集 E 1-38 (1997)
- 10) H. Kolm, et al.: Sci. Am. Nov. (1975) 47
- 11) 岡田秀彦ら：1997 年度秋季低温工学・超電導学会講演概要集 E 2-29 (1997) 194
- 12) 岡本 祥一，関沢 尚：応用物理 **43** (1974) 183
- 13) C. J. Lin, et al.: IEEE Trans. Magn. **MAG-12** (1976) 513
- 14) 岩本雅民ら：超電導磁石を使用した微粉塵の高勾配磁気分離，電気学会バイオマグネティズム研究会 MAG-89-31 (1989)
- 15) M. Iwamoto, et al.: J. Appl. Phys. **67** (1990) 5904
- 16) 小原健司ら：超電導磁石による高磁場を用いた空気の酸素富化実験，昭和 59 年度秋季低温工学研究発表会予稿集 C-6 (1984) 57
- 17) 日刊工業新聞 5 月 28 日 (1969)
- 18) 朝日新聞 3 月 20 日 (1998)
- 19) 上平 恒：水とはなにか，ブルーバックス B-335，講談社，東京 (1993)
- 20) 豊田 環吉：工業用水と水質管理，昭晃堂 (1961)
- 21) ベルギー・インジドルソフィ・ヴェルミイラン：日本特許第 26446 号 (特公昭 31-5341) (1956)
- 22) 日刊工業新聞 9 月 26 日 (1971)
- 23) ジャパンハイドロエンジニアリング社カタログ HYDRO-UNIT (1987)
- 24) 日経産業新聞 11 月 18 日 (1985)
- 25) ヴェ・イ・クラッセン (遠藤敬一訳)：水の磁気処理，新日本鋳鍛造協会 (1990)
- 26) イエ・エフ・テベニーヒン (遠藤敬一訳)：動力装置の水の磁気処理と超音波処理，新日本鍛造協会 (1986)
- 27) エス・エス・ドシキン，ヴェ・エヌ・イエフストラクトフ (遠藤敬一訳)：化学装置における水の磁気処理，新日本鍛造協会 (1987)
- 28) 金属 9 月 15 日号 (1970) 29
- 29) 木下誠一：計測と制御 **37** (1998) 87
- 30) 石原 透：水処理技術 **13** (1972) 115
- 31) 坂本正義：配管装置・プラント技術 (配管技術協会) 7 月号 (1988)
- 32) (株) ビー・シー・オー (岡山市) カタログ，スーパー磁気活水处理装置 BCO ハピネス，5 月 29 日 (1998)

- 33) 浅川湧吉：科学朝日 7月号 (1984) 77
- 34) Y. Asakawa：Nature **261** (1976) 220
- 35) B.K. Cooper, et al.：Investigation of concentration gradients produced in electrolytes by magnetic fields, Res. Dev. Prog. Rep. No. 187 (1966) United States Department of the Interior
- 36) Chem. Eng. News **48**, No. 24 (1970) 13
- 37) 日刊工業新聞 6月23日 (1970)
- 38) S. Ueno, et al.：J. Appl. Phys. **75**, No. 10 (1994) 7177
- 39) 岡田晃吉：WEDGE **10** (1998) 60
- 40) 佐藤幹夫ら：NO_x低減に対する水をよび添加剤注入による影響，電力中央研究所研究報告 277025 (1978)
- 41) 有馬晴信：高勾配磁界を通過した軽油に与える影響に関する基礎的研究，秋田大学大学院修士論文 (1998)
- 42) 藤田越丈：燃料及燃焼 **45** (1978) 44
- 43) 上野照剛ら：磁場による燃焼の制御，電気学会マグネティクス研究会 MAG-86-200 (1986)
- 44) S. Ueno：J. Appl. Phys. **75**, No.10 (1994) 15
- 45) Y.G. Dorfman：Biophysika **7** (1962) 733
- 46) 上野照剛ら：生物物質の磁場配向，電気学会マグネティクス研究会 MAG-91-92 (1991)
- 47) 東 照正ら：日本生体磁気学会誌 **3** (1991) 12
- 48) 朝日新聞 10月17日 (1988)
- 49) 朝日新聞 8月20日 (1990)
- 50) 長倉三郎，林 久治：サイエンス **16** (1986) 104
- 51) 林 久治：未来技術 磁場下の化学反応，日経新聞 5月11～13日 (1990)
- 52) 林 久治ら：レーザー科学研究 **6** (1984) 90
- 53) 坂口喜生ら：レーザー科学研究 **6** (1984) 94
- 54) 山川和郎：熱処理 **11** (1981) 48
- 55) 布施川泉ら：低温工学 **33** (1998) 54
- 56) 伊藤糾次ら：結晶成長，コロナ社，東京 (1980)
- 57) 鈴木達也ら：プラズマ核融合学会誌 **74** (1998) 250
- 58) 三浦 進：低温工学 **17** (1982) 149
- 59) 佐治他三郎：ニューセラミックス **8** (1995) 158