技術紹介および展望

磁性アタッチメントの発展と変遷

平 田 幹 男

東京医科歯科大学歯学部歯科補綴学第一講座（指導：藍 稔教授）

（1997 年 9 月 29 日 受付）

Development and Transition of Magnetic Attachments — A Literature Review —

Mikio Hirata

The First Department of Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Tokyo Medical and Dental University
(Director : Prof. Minoru Ai)

In the 1950 s, a new method of using magnets for the retainers of removable partial dentures (RPDs) was developed. It utilized magnetic attractive force instead of mechanical friction. However, the magnets used in those days were Alnico, Ferrite and/or Pt-Cobalt magnets and their retentive force was not strong enough to stabilize the dentures. Therefore, they gradually went out of use.

In the middle of the 1970 s, Samarium Cobalt magnets, which have strong magnetic characteristics, were developed and introduced into dental field. In 1976, Sasaki first applied the samarium cobalt magnets to the retainers of PPDs. While in 1981, Mizutani, *et al.* first used well-fitted ferromagnetic alloy and the magnet for the purpose of stabilizing the RPD. Since then, many researchers have developed devices such as the magnetic retainer and the closed field magnetic attachment placed on the market in 1992. Now, as for the popular retainer of RPD, one can easily use a smaller yet stronger magnetic attachment which uses Neodmium rather than Samarium Cobalt magnet.

I. 緒 言

有床義歯の支台装置として古くからクラスプが用いられ、多種のクラスプが開発応用されている¹⁾。一方、審美性や着力点などクラスプの欠点を補う各種のアタッチメントも考案され発展してきた²⁾。このアタッチメントは Key と Key-way, Pin と Tube, Bar と Sleeve などのように Male 部と Female 部が機械的に嵌合して維持力を発現するものが大部分である。

ところが近年、上記のようないわゆる機械的支台装置とは異なり、永久磁石の吸引力を利用した支台装置によって、部分床義歯やオーバーデンチャーの維持を図る試みが行われ、磁性アタッチメントとして実用化されるようになってきた。磁性アタッチメントは従来の機械的構造のアタッチメントにはない数々の特性を有し、基礎的研究や臨床的研究の経緯をみてもわかるように、将来性のある支台装置として認められるようになってきている。そこで、これまでの磁性アタッチメント

図1 Freedman, H. の用いた磁石 (1953)⁶⁾
 上下顎は磁石の反発力で安定するよう意図されている。
 A: 模型上の磁石, B: 完成義歯

の変遷の経緯について述べてみたい。

II. 磁性アタッチメントの変遷

紀元前, 古代の小アジアの国 Magnesia (現シリア) で人類最初の天然磁石が発見され, 当時ロードストーンと呼ばれた。この磁石は後に Magnetite (Fe_3O_4 磁鉄鉱) として知られる鉱物であり, 磁石と人類の関係は古い³⁾。羅針盤や電磁誘導応用機器など磁石がその後文明の進化に種々影響を与え, 手助けとなったことは周知の事実である。しかし磁石が医学の分野に应用されるようになったのは比較的近年のことで今世紀に入ってからとされている⁴⁾。

近代歯科学においては磁石を補綴物の維持, 安定に利用しようとする発想がもたれたが, これは1952年のGoldsmithによる米国特許「Denture and Artificial teeth」出願が最初とされている⁵⁾。

引き続き1953年にはFreedmanにより義歯の維持, 安定に対して磁石の応用が試みられている⁶⁾。

Freedmanの方法は磁石の同極の反発作用を利

用するもので, 吸収が強く義歯の安定が悪い貧弱な顎堤においても磁石の応用により義歯を安定させることができたと述べている。General electric Co. の協力で開発された磁石を用いており, それは図1のようにカーブしていて, 義歯への埋入も容易である。磁石は上下の対向関係を正確に再現しなければ反発力が弱くなるが, 100症例の術後結果は良好で, 顎堤の吸収も少なかったと報告している。

Behrmanの1960年の方法はこれとは異なり, 顎骨に磁石をインプラントする方法で, もう一方の磁石は義歯に埋入させ, 両者の吸引力を義歯の安定に利用する方法である⁷⁾。

それによると, まず1949年に開発されたアルニコ磁石を用いてイヌによる実験を行った。磁石は組織中で腐食されるので組織親和性を有するアクリリックレジンでコーティングした磁石を用いたところ, 良い結果が得られたとある。この結果を基に, 1950年に臨床試験が行われ, 1951年にはさらに強力な白金コバルト磁石を用いることができるようになり, 種々検討の結果, 直径1/8インチ

(3.2 mm), 高さ 1/4 インチ (6.3 mm) の円柱形の磁石を適切なサイズと定めた。骨内インプラントする場合, タンタラムのメッシュで磁石を覆っておくと磁石を固定し移動を防ぐこと, 義歯には Polytetrafluoro ethylene でコーティングした磁石を常温重合レジンで取り付けると成績が良いと報告している (図 2)⁷⁾。

さらに, Behrman の 1961 年の報告によれば, 下顎に磁石をインプラントした 450 症例の 8 年間の追跡結果は, 安全で生体に悪影響はなかったこと, 肉眼的, 組織的, X 線の審査すべての所見は良好であり, 義歯の維持ははるかに改善され, 患者は満足したと述べている⁸⁾。

1956 年, Nadeau は上顎洞粘膜がんによる上顎骨, 眼窩欠損に対する顎顔面補綴に磁石を用いた結果を報告している⁹⁾。上顎洞栓塞子内に一方の

図 2 Behrman による下顎骨にインプラントされた磁石 (1960)⁷⁾

磁石を埋入させ, これと補綴する上顎全部床義歯に他方の磁石を対向させて維持を図ったもので “Magnetic stabilizer” はきわめて価値あるものと結論づけている⁹⁾。

1962 年に Toto らはイヌを使用して白金コバルト磁石のインプラントによる組織検索を行い, 白金コバルト磁石は骨や, 線維組織によく馴染んだと結論している¹⁰⁾。

1966 年, Schmitz は, 白金コバルト磁石インプラントの有効性について, 患者の全部床義歯の垂直, 水平方向のずれに対する抵抗値を測定することにより評価しているが, 下顎の義歯においてはインプラントの磁石を追加することにより抵抗値が増加し有効であったと述べている¹¹⁾。

1967 年, Winkler と Peterson は, 上下無歯顎患者の全部床義歯臼歯部に磁石を埋没し, 同極の反発力を利用した義歯を作り, Cineradiographic Film によりその影響を観察している。結果は, 咀嚼・談話中の義歯のずれについては磁石の反発力によりかなり軽減されたと報告している¹²⁾。

一方, 我が国においては坪根が早くから研究を開始し, 特許「義歯床に埋没する磁石」(特許出願 1955 年 7 月 22 日) が最初とされている^{5,13)}。

同年に鶴島らは上記の義歯用磁石の試作品を応用した無口蓋総義歯を報告した^{14,15)}。これは磁石の同極反発力を利用して義歯を顎堤に圧接するもので (図 3), Freedman⁶⁾ と同じ考え方である。義歯はよく安定したが, 持続的に顎堤に押し付けられるため, 顎堤の吸収が促進されたり, 患者が疲

図 3 鶴島らの用いた磁石 (1955)¹⁴⁾。反発力を利用している。
A: 磁石, B: 義歯床への埋没図

図4 栓塞子と吸着床に用いられた磁石 (豊田ら, 1957)¹⁶⁾

労感を訴えたと述べている。

1957年, 豊田らは磁石を応用した上顎顎補綴の1症例を報告した¹⁶⁾。切除義歯を栓塞子と中空義歯との2つに分割し, 磁石で吸着させることにより上顎片顎補綴物の維持を増強したものである(図4)。磁石にラッカーを塗布して防錆に努めているが, 防錆は今後の重要課題であるとしている。

さらに, 1969年には水川らは円板型のフェライト磁石を用いて栓塞子と上顎全部床義歯の双方に一对の磁石を使った顎補綴の症例を報告している¹⁷⁾。

以上, 1960年代までの海外, および国内で義歯や顎補綴に用いられた磁石について述べたが, 当時の磁石はアルニコ, フェライト, 白金コバルト磁石に限られており, 補綴物の維持に必要な吸引力や反発力を得るためには数cmの大きさの磁石を必要とした。したがって, 口腔内で应用するにはサイズの面で制約があり, 当時の歯科領域での磁石に関する研究は, ますます広がりを見せると

いう展開ではなく, 症例報告のみで終わってしまった。いくなれば, 壁に突き当たった状態を呈していた。筒井はこの1950年代前半から1970年代前半にかけての20年間は試行の時代であり, Dental Magnetic Appliance研究の第I期と位置づけている⁵⁾。

1960年代後半に入り希土類元素と鉄またはコバルトの化合物が優れた微粒子磁石となることが発見された¹⁸⁾。1967年アメリカで初めてのサマリウムとコバルトの化合物, サマリウム・コバルト磁石が実用化されるようになり, この画期的な発見以後, 急激に事情が変わり多くの試みがなされるようになった。この磁石は従来のアルニコ, 白金コバルト磁石に比べて飛躍的に磁気特性が優れており, 数mm程度の小型磁石で補綴物の維持ができるようになった。そして, この希土類磁石を用いた研究が始まった1970年代後半から現在に続く時期はDMA研究の第II期とみなされている⁵⁾。

我が国の歯科領域では希土類磁石が実用化され始めた1971年頃より筒井⁵⁾を中心とする徳島大学グループが世界に先がけて研究を開始している。1976年, 佐々木らはサマリウム・コバルト磁石を義歯の維持装置として応用し, 良い結果を得たと報告している¹⁹⁾。磁石は幅1mm, 長さ2.5mm, 厚さ2mmから幅2mm, 長さ5mm, 厚さ1.5mmまでの4種類とし, まず, 上顎栓塞子と部分床義歯からなる顎補綴物の維持に応用した。次に2, 3歯のそれぞれの歯根上に, 磁石をアマルガムで固定し, オーバーデンチャータイプの下顎部分床義歯, 下顎全部床義歯のケースに応用した(図5)。義歯のほうには歯根と対向する部位に, 常温重合レジンで磁石を取り付け, 両者の吸引力による義歯の維持を試みている。

オーバーデンチャーとして磁石を用いた研究発表は, 世界で初めてのものであり, 以後希土類磁石の義歯用維持装置としての研究が次々に行われるようになった。

佐々木らは同年の1976年に同じくサマリウム・コバルト磁石を応用して顎骨欠損の大きい2

図5 オーバーデンチャーに初めて用いられたサマリウム・コバルト磁石 (佐々木ら, 1976)¹⁹⁾

図6 Frederick の用いた No. 4 Attracting Magnet (1976)²¹⁾

症例に分割顎義歯を製作し、良好な結果を得たと報告している²⁰⁾。

Federick も上顎骨および眼窩欠損の上顎挿塞子と上顎顎補綴に際し、英国 General Manufacturing Co. の No. 4 Attracting Magnet を上顎挿塞子と上顎顎義歯の双方に取り付け、吸引力を利用して維持を図り (図6), Tomogram を示して良好な結果を得たと報告している²¹⁾。

1977 年, Connor は, サマリウム・コバルト磁石のインプラントを行い、義歯にも同種の磁石を取り付け、白金コバルト磁石の 1/5 の大きさで同等の効果を期待できることを報告している²²⁾。組織に対するサマリウムやコバルトの漏出は, Proplast のコーティングで防止できるとしているが、

図7 田村らの用いたサマリウム・コバルト磁石 (1978)²³⁾
根面および義歯に磁石を固定し、吸着力により維持力を発現

さらなる検討の必要性を述べている。

1978 年に田村らはオーバーデンチャーにスタッドタイプのアタッチメントと同じ考えで、サマリウム・コバルト磁石を用いた。残存歯根とそれに相対する義歯粘膜面の双方に日立金属のサマリウム・コバルト磁石「ハイコレックス」(H-26) を固定し (図7), 義歯の維持を図っている。磁石の形態は $2 \times 3 \times 2$ mm, $3 \times 4 \times 2$ mm, $5 \times 10 \times 1$ mm の 3 種の矩形で、為害性はなく、維持力、操作性の面でも良好な結果を得たと報告している²³⁾。

1979 年, Moghadam は磁石を義歯の維持装置として利用する場合は、顎骨内にインプラントするのではなく、オーバーデンチャーとして歯根に取り付けたほうが有利であると述べている²⁴⁾。理由として、1) 外科的な浸襲を必要としない、2) インプラントした磁石と義歯の磁石との間の組織を圧縮するような危険はなく組織を傷めない、3) 常に磁石を肉眼でみることができ、メンテナンスが容易で取り替えも可能である、などとしている。2 年間の臨床成績は良好で、骨・粘膜などの周囲

図8 Moghadam が用いた磁石 (1979)²⁴⁾

A: 義歯内の Overlay magnet, B: 歯根面の Intracoronary magnet

組織を障害しないし、種々のサイズの磁石が提供されればさらに利用価値が上がると述べている(図8)²⁴⁾。

上記のほかにも安元らのサマリウム・コバルト磁石を応用した分割式オブテュレーター²⁵⁾の報告(図9)があるが、当時の研究をみるといずれも磁石単体同士の使用、つまり磁石と磁石の吸引力を利用したものが大半で、将来への課題は解決されず、内包されたままであった。

すなわち、サマリウム・コバルト磁石の欠点として、1)臨床的に铸造することができない、2)形態が円柱、角柱のものに限られている、3)もろく、咀嚼圧により破壊されやすい、4)口腔内に露出された面は腐食されるためコーティングする必要がある²⁶⁾、などがある。これらの問題を解決するためには、磁石同士の組み合わせでなく、磁石とそれに吸着する性質を有する歯科用磁性合金を開発することである。こうすれば、铸造により任意の形態付与が可能であり、かつ磁石の吸引力を義歯の維持力に活用できる。また、義歯を取り外せば口腔内に磁石は存在しなくなるので、強磁場の影響や磁石の腐食の問題も軽減できる。問題は铸造性が良く、適合性の良い磁性合金の開発が可能かどうかということである。

この問題を解決するために、1981年水谷らはKinouchi らが開発した歯科铸造用強磁性合金²⁷⁾に金、シリコン、亜鉛などを添加した合金を試作し、铸造性と適合性の向上を図った²⁸⁾。その結果、

図9 安元らの磁石を用いた顎義歯 (1984)²⁵⁾

铸造性、適合性ともに、歯科用 12%金銀パラジウム合金と比較して遜色のない修復物が得られる磁性合金の製造が可能となった。つまり、磁性合金を铸造することで任意の形態付与が可能となり、適応症例も今までの磁石 2 個を用いていたときよりも広がることになる。

さらに、石幡はこの磁性合金を用いて閉磁路構造の磁石構造体を試作し、周囲への磁場の漏洩を少なくすると同時に吸引力を上昇させることを発表した^{29,30)}。

この頃から磁石 2 個を使用して相互間に働く吸引力を利用するというやり方でなく、磁性合金と磁石、その磁石も磁性合金で被覆した閉磁路構造のものを使用するというものに変わってきた。そして、さらに効率よく吸引力を上昇させるための磁性材の研究や磁石の組み合わせ方の研究が盛ん

に行われるようになってきた^{27,31,32)}。閉磁路を形成する磁石の組み合わせ方についてはすでに工業生産吸引磁石として知られており、口腔内という限られたスペースでいかに吸引力を有効に利用するかについて種々検討された (図 10)²⁷⁾。

また、この頃になると磁性合金に対する考え方も少しずつ変わってきた。すなわち、その固相点が 1,200℃前後と高温であるということから、鑄造して個々の症例に用いるのではなく、既成の磁

図 10 閉磁路を形成する種々のパターン (Kinouchi, *et al*, 1981)²⁷⁾

性ステンレス板を歯根に直接セメント合着して、あるいは根面板に鑄接して用いるという、いわゆる磁性アタッチメントの手法に変わってきたのである^{33~35)}。こうすれば、磁性合金の適合性の問題を考慮することなく、磁石構造体と磁性ステンレス製のキーパーとの間に働く吸引力を利用したオーバードンチャータイプとすることができ、技工操作も一段と容易になる (図 11)³³⁾。

磁石構造体の閉磁路タイプには Cup 型, Split pole 型, Sandwich 型がある。つまりヨークを用いて閉磁路とすることにより、磁力線を集中させ吸引力を高められる (図 12)³⁶⁾。磁力線は集中させればさせるほど、磁力密度の 2 乗に比例して吸引力を増加させることができるのである³⁷⁾。

1983 年、サマリウム・コバルト磁石よりもさらに強力なネオジウム・鉄・ボロン磁石が我が国で開発され、現在に至るまで磁性アタッチメントの基本的特性^{38,39)}や開磁路型、閉磁路型の磁力の理論解析^{40,41)}、また、維持能力の解析、各種の臨床応用法^{42,43)}、さらに、高性能の磁性アタッチメントの開発に対して多くの研究者による多数の研究報告がなされている^{44,47)}。

特に重要な問題である磁石本体の防錆対策については、最初は磁石をヨーク材で包みキーパーと接する磁極面にステンレス鋼の箔を 4 MATA 含有歯科用レジンで接着する方法が採られていた^{29,48)}。しかし、この方法では完全な防錆対策とは

図 11 Gillings が考案した Magnetic Denture Retention Unit (1983)³³⁾

キーパーを根面に直接セメント合着する。

A

B

図 12 閉磁路，開磁路における磁力線（奥野，1993）³⁶⁾

A：閉磁路型磁性アタッチメント各種，B：開磁路型

図 13 磁性アタッチメントの構造とレーザー溶接シール部（奥野，1993）³⁶⁾

A：Cup 型，B：Sandwich 型

いえず，時間の経過とともに錆びるものも若干みられた⁴⁹⁾。そこで，キーバーと接する磁極面をレーザー溶接でシールする方法が考案された^{37,50)}。こうすることで，磁石のすべての面がステンレス鋼で被覆，密封されたことになり，防錆対策の信頼度は一段と向上した（図 13）³⁶⁾。

1992 年には愛知製鋼からマグフィットが，やや遅れて同年 12 月に日立金属からハイコレックス

が発売され，臨床家がこれらを自由に使用できるようになっている。そして現在ではサイズ，吸引力の異なる磁性アタッチメントが両者より数種類提供されるようになった（図 14，15⁵¹⁾）。開発当初は開磁路型で吸引力も最初 150～170 gf だったものが，ヨーク材を用いる閉磁路系では 800 gf 程度のもので開発されるようになり^{52,53)}，ますます臨床応用の範囲が広がりつつあるといえよう。

図 14 最新型ハイコレックス (1997)

III. 磁性アタッチメントの展望と将来

磁性アタッチメントはいうまでもなく、磁石の吸引力を応用したアタッチメントである。義歯の維持装置としての磁性アタッチメントの維持力は現在までのところ、230～800 gf であるが、磁気特性のさらに優れた磁石が開発されれば、維持力を増すことができる。また、維持力を増す必要がなければ、同一維持力を保ったうえでそのサイズを小さくすることが可能となり、その応用がますます広がるものと思われる。

防錆対策については、磁石構造体は、レーザー溶接による磁石本体の密封が可能となり、錆びる危険性はほとんどなくなった。しかし、症的には少ないものの、新たに磁石構造体を義歯に取り付ける際のレジンと磁石構造体との間の隙間腐食の問題が指摘されており^{54,55)}、将来の製品としては接着性レジンがコーティングされた磁石構造体も考慮する必要があるだろう。

MR 画像に対する磁性アタッチメントの影響は、その対象が頭頸部となると全くないとはいえない。画像に大きく影響を与える磁石構造体は、義歯とともに口腔内より撤去されるので心配はない。しかし、磁性ステンレスであるキーパーは口腔内より撤去できないのでアーチファクトとして作用し、画像を歪ませたり、透過させたりして多少なりとも影響を及ぼす^{56,57)}。したがって、キーパーも MR 撮像の際には可撤性のものが望まれる。

図 15 最新型マグフィット (田中ら, 1996)⁵¹⁾

この可撤性のキーパーについては研究、開発が進められており⁵⁸⁻⁶⁰⁾、すでに海外の磁性アタッチメントにはこの方式を採用しているものもある⁴⁵⁾。可撤式を採用すればキーパーを根面板に銲接する必要がなく、熱が加わらないので、そのステンレス鋼が持っている本来の機械的性質、磁気的性質をそのまま活用できる利点がある反面、径が大きくなりすぎたり、使用時に離脱しやすいなどの欠点が挙げられる(図 16)。この点に関しては今後の検討課題といえる。

IV. 考 察

1950 年代初頭より磁石を補綴物の維持に利用しようとする試みがなされるようになり、数多くの研究者、臨床家、メーカーなどの地道で絶え間のない努力が積み重ねられ、現在に至っている。

その経過をみると、第 I 期といわれる時代に用いられた磁石は、アルニコ、フェライト、白金コバルト磁石に限られていたため、補綴物の維持に利用できる吸引力を得るには数 cm 程度の大きさの磁石を必要とした。この制約などのため限られたケースにしか応用することができなかった。その使用法は、1) 同極の反発力を利用し全部床義歯

A

B

図 16 水谷らの使用している可撤式キーバー (1994)⁵⁹⁾

A: キーバー装着時, B: キーバー撤去時

を顎堤に押し付け維持を図るもの、2)磁石を下顎骨にインプラントし、もう一方の磁石を義歯に取り付け、互いの吸引力で維持を図るもの、3)顎義歯と栓塞子を分割し、それぞれに磁石を用いて吸着させるもの、の3通りに限られていた。

その後、1970年初頭より高性能の希土類磁石が出現し、数mm程度の大きさの磁石で義歯床の維持が可能となり、臨床応用へ向けての実用化の道が開かれるようになった。国内・海外を問わず多数の研究者によりきわめて多くの研究業績が発表されるようになった。また、わが国においては1980年にDMA研究会が発足し⁵⁾、1991年には日本磁気歯科学会として発展し⁶¹⁾磁石、磁気の歯科への応用に貢献している。

高性能希土類磁石も最初はそのままの形の単体として用いられ、磁石と磁石の吸引力を利用する程度のものであった。その後、鑄造可能な歯科用強力磁性合金が開発されてヨーク材として磁石を包み、閉磁路系を形成するアタッチメントが開発された。このことにより、吸引力を数段強め、磁気の漏洩を防ぎ、また防錆対策も解決された。1992年からは、2つのメーカーから磁性アタッチメントの製品が提供されるようになった。

永久磁石として昭和初期に世界に先がけて本多光太郎、三島徳七両博士によりそれぞれKS磁石とMK磁石が発明され、これらが基本となって戦後アルニコ磁石が生まれた³⁾。また、希土類磁石ネ

オジム・鉄・ボロン磁石も我が国の発明であって磁石の開発においては我が国は世界の先進国であり、その生産高も世界第1位である³⁾。

この勢いは歯科界においても同じで、坪根による特許「義歯に埋没する磁石」も目を引くところである。希土類磁石が実用化され始めた1971年頃には徳島大学の筒井を中心とするグループは世界に先がけて歯科応用に関する研究を開始した。そして1976年に、佐々木、木内は初めてサマリウム・コバルト磁石を義歯の維持装置に応用した。これがきっかけとなって海外の研究も盛んになったと考えられる^{32,33)}。海外で発売使用されている磁性アタッチメントも数多くあるが、比較検討すると^{46,62)}我が国のものより高径、幅径が大きく、磁石構造体に埋没された磁石のシールも懸念されるものもみられ、吸引力も日本製に優れたものがある。研究の歴史の長さなどからみても我が国がリードしているとみることができる。

従来の機械的維持装置の維持力が150～約1,000gといわれているところを目安として考えると、磁性アタッチメントは製品としてほぼ完成していると考えられる。

義歯の支台装置とは別に、磁石を利用して歯を挺出させる試みも行われている^{63,64)}。この場合にも、磁石の吸引力が既知でそれ以上の力が発現しないため、ワイヤーやゴムリングを応用する方法よりも失敗が少ないとされている⁶⁵⁾。

また、現在は磁気の生体に対する影響も一段と関心を集めているようであり、種々の研究がなされている^{66~68)}。しかし、生殖機能への影響など何世代にもわたるものもあり、明確な結果を得るにはもう少しの時間が必要と思われる。

V. 結 論

1. 磁性アタッチメントの発展の経緯を各種文献の渉猟により検討した。

2. 1950年代前半から1970年代前半まではDMA研究の第I期とされ、数cm程度のアルニコ、フェライト、白金コバルト磁石が用いられていた。

3. 1970年代に高性能希土類磁石が実用化された。これをきっかけとして、国内・海外で歯科的应用が検討され、数mmの大きさで十分な吸引力のある新型磁石に対する研究が盛んに行われるようになった。

4. 1992年より我が国では希土類磁石を応用した磁性アタッチメントが製品化され、一般臨床で用いることが可能となった。

5. 1980年にDMA研究会が発足し、1991年に日本磁気歯科学会として発展し、斯学の発展に多大の貢献をしている。

謝 辞

稿を終わるにあたり、幾多のご助言をいただいた水谷 紘 助教授に深謝いたします。

文 献

- 1) 平田幹男：クラスプの発展と変遷、および我が国における無鑑着鉤の考案者について。日歯医史誌 17：289-297, 1991.
- 2) 平田幹男：アタッチメントの発展と変遷に就いて。日歯医史誌 20：5-20, 1994.
- 3) 岩間義郎：磁石の話。日磁歯誌 1：1-6, 1992.
- 4) 木内陽介：磁気の生体への応用。日磁歯誌 1：7-13, 1992.
- 5) 筒井英夫：DMA研究経過・活動状況。DMA研究会業績集1, 1983, 2-4.
- 6) Freedman, H. : Magnets to stabilize dentures. J. Am. Dent. Assoc. 47 : 288-297, 1953.
- 7) Behrman, S. J. : The implantation of magnets in the jaw to aid retention. J. Prosthet. Dent.

- 11 : 807-841, 1960.
- 8) Behrman, S. J. : Surgical preparation of edentulous ridges. J. Prosthet. Dent. 11 : 404-413, 1961.
- 9) Nadeau, J. : Maxillofacial Prosthesis with Magnetic stabilizers. J. Prosthet. Dent. 6 : 114-119, 1956.
- 10) Toto, P. D., Choukas, N. C. and Sanders, D. D. : Reaction of bone and mucosa to implanted magnets. J. Dent. Res. 41 : 1438-1449, 1962.
- 11) Schmitz, J. F. : Measurement of the efficiency of the platinum-cobalt magnetic implant. J. Prosthet. Dent. 16 : 1151-1158, 1966.
- 12) Winkler, S. and Peterson, M. H. : The Effectiveness of Embedded Magnets in Complete Dentures During Speech and Mastication : Cineradiographic Study. Dental Digest 73 : 118-123, 1967.
- 13) 坪根政治：義歯床に埋没する磁石。特許広報、東京、1958、特許庁、(出願：1955. 7. 22.) 1547.
- 14) 鶴島亀岩、金田重剛、小柳 格：磁石応用の総義歯（無口蓋義歯）。福岡県歯科医師会雑誌 8 : 5-6, 1955.
- 15) 城戸寛夫、豊田静夫：磁性アタッチメントの臨床応用。日本歯科評論 604 : 99-110, 1993.
- 16) 豊田静夫、吉永恒雄：Magnetを応用した上顎顎補綴の一症例。歯界展望 14 : 1042-1046, 1957.
- 17) 水川一広、小林喜平：磁気を応用した顎補綴の一症例。補綴臨床 2 : 309-315, 1969.
- 18) 徳永雅亮：永久磁石の現状と動向。モータ技術・現地フォーラム、東京、1994、モータ技術社、1-12.
- 19) 佐々木英機、木内陽介：歯科補綴物へのサマリウムコバルト合金磁石の応用について。補綴臨床 9 : 77-82, 1976.
- 20) 佐々木英機、塩田正久：サマリウムコバルト合金磁石を使用した義歯症例。補綴臨床 9 : 229-234, 1976.
- 21) Federick, R. : A magnetically retained interim maxillary obturator. J. Prosthet. Dent. 36 : 671-675, 1976.
- 22) Connor, R. J. : Proplast-coated high-strength magnets as potential denture stabilization devices. J. Prosthet. Dent. 37 : 339-343, 1977.
- 23) 田村 武、洲崎 真、三木敏一：永久磁石を応用したOver Denture。日本歯科評論 433 : 67-75, 1978.
- 24) Moghadam, K. : Magnetic retention for overdentures. J. Prosthet. Dent. 41 : 26-29, 1979.
- 25) 安元和夫、城戸寛史、加来 哲、ほか：マグネットを応用した上顎顎補綴。九歯誌 38 : 860-863, 1984.
- 26) Tsutsui, H., Kinouchi, Y., Sasaki, H., Shiota,

- M. and Ushita, T.: Studies on the Sm-Co Magnet as a Dental Material. *J. Dent. Res.* 58: 1597-1606, 1979.
- 27) Kinouchi, Y., Ushita, T., Tsutsui, H., Yoshida, Y., Sasaki, H. and Miyazaki, T.: Pd-Co Dental Casting Ferromagnetic Alloys. *J. Dent. Res.* 60: 50-58, 1981.
 - 28) 水谷 紘, 石幡伸雄, 藍 稔: 磁性合金の補綴領域における応用 第1報 実用的精度. 補綴誌 25: 687-694, 1981.
 - 29) 石幡伸雄, 水谷 紘, 藍 稔: 磁性合金の補綴領域における応用 第2報 根面維持装置に応用するための基礎的研究. 補綴誌 26: 993-998, 1982.
 - 30) 石幡伸雄, 水谷 紘, 藍 稔: 磁性合金の補綴領域における応用 第3報 磁性アタッチメントに関する基礎的研究. 補綴誌 27: 937-942, 1983.
 - 31) Yoshida, Y., Sasaki, H., Sumimoto, T., *et al.*: Overdentures using magnetic attachments. *J. Dent. Res.* 59 (Special Issue): 299-299, 1980.
 - 32) Gillings, B. R.: Magnetic retention for complete and partial overdentures. Part I. *J. Prosthet. Dent.* 45: 484-491, 1981.
 - 33) Gillings, B. R.: Magnetic retention for complete and partial overdentures. Part II. *J. Prosthet. Dent.* 49: 607-618, 1983.
 - 34) 石幡伸雄, 水谷 紘, 藍 稔: 磁性合金の補綴領域における応用 第4報 磁性アタッチメントの臨床的応用例. 補綴誌 28: 515-521, 1984.
 - 35) 奥野 攻, 中野 毅, 浜中人士, ほか: Nd-Fe-B 磁石とパーメンダーによる歯科用サンドイッチ型磁性維持装置. 歯材器, 8: 539-545, 1989.
 - 36) 奥野 攻: 磁性アタッチメントの理工学的特性. 日本歯科評論 604: 72-82, 1993.
 - 37) Okuno, O., Ishikawa, S., Iimuro, F. T., *et al.*: Development of sealed cup yoke type dental attachment. *Dent. Material J.* 10: 172-184, 1991.
 - 38) 田中貴信, 本蔵義信, 平沼謙二, ほか: サンドイッチ型磁性アタッチメントに関する基礎的検討. 補綴誌 35: 167-177, 1991.
 - 39) 水谷 紘, 中村和夫, 藍 稔: 磁性アタッチメントの力学的検討. 歯科ジャーナル 38: 35-40, 1993.
 - 40) 木内陽介, 奥野 攻: 磁性アタッチメントの維持能力の解析. 日磁歯誌 1: 130-134, 1992.
 - 41) 水谷 紘, 門山訓丈, 藍 稔, ほか: 磁性アタッチメントのキーパーの面積および設置位置の違いが吸引力に及ぼす影響. 日磁歯誌 1: 61-70, 1992.
 - 42) 田中貴信, 本蔵義信, 岸本康男, ほか: サンドイッチ型磁性アタッチメントに関する臨床的検討. 補綴誌 35: 599-608, 1991.
 - 43) 石幡伸雄, 水谷 紘, 中村和夫, ほか: 磁性アタッチメントの特性を活かした臨床的応用法. 日磁歯誌 1: 88-98, 1992.
 - 44) 奥野 攻, 高田雄京, 中村和夫, ほか: カップヨーク型アタッチメントにおけるシールドリングの改良について. 日磁歯誌 2: 1-10, 1993.
 - 45) 田中貴信, 星合和基, ほか: 各種磁性アタッチメントの基本特性に関する比較検討. 日磁歯誌 1: 35-44, 1992.
 - 46) 野口一美, 水谷 紘, 藍 稔: 海外磁性アタッチメントに関する調査. 日磁歯誌 4: 37-47, 1995.
 - 47) 森戸光彦, 河端要次郎, 高柳 公, ほか: 歯科用アタッチメントを応用した症例の統計的観察と経過観察. 鶴見歯学 20: 599-604, 1994.
 - 48) 水谷 紘, 石幡伸雄, 藍 稔: 磁石(サマリウム・コバルト磁石)の補綴処置への応用. クインテッセンスデンタルテクノロジー 11: 1337-1341, 1986.
 - 49) 水谷 紘: 磁性アタッチメントを用いたパーシャルデンチャーの考え方. 日本歯科評論 604: 111-123, 1993.
 - 50) 水谷 紘, 藍 稔: 磁性アタッチメント—その特性を活かした臨床応用法. クインテッセンスデンタルテクノロジー 16: 1561-1572, 1991.
 - 51) 田中貴信, 中村好徳, 出崎義規, ほか: 第二世代の磁性アタッチメント「マグフィット EX®」の開発. 日磁歯誌 5: 24-30, 1996.
 - 52) 田中貴信: 磁性アタッチメント 磁石を利用した新しい補綴治療. 東京, 1992, 医歯薬出版, 59-70.
 - 53) 水谷 紘: 磁性アタッチメントの性能と応用. 増原英一編, 先進歯科技術と新臨床. 東京, 1995, 医歯薬出版, 147-151.
 - 54) 高田雄京, 奥野 攻: 磁性アタッチメントを構成するステンレス鋼と歯科用貴金属合金などの腐食挙動. 日磁歯誌 3: 14-22, 1994.
 - 55) 高田雄京, 奥野 攻: 高純度 SUS 430 系ステンレス鋼の歯科用磁性材料としての耐食性評価. 日磁歯誌 4: 10-18, 1995.
 - 56) 吉田 実, 古川良俊, 高嶋 勉, ほか: 磁性アタッチメント・キーパーの MR 画像におよぼす影響—位置による相違—. 日磁歯誌 3: 1-8, 1994.
 - 57) 鱒見進一, 有田正博, 奥野 攻, ほか: 歯科用金属が MRI に及ぼす影響. 日磁歯誌 1: 45-48, 1992.
 - 58) 中村和夫, 土井史子, 石川 晋, ほか: MRI 対策としてのキーパー可徹法の検討. 日磁歯誌 1: 71-75, 1992.
 - 59) 水谷 紘, 石幡伸雄, 中村和夫: 磁性アタッチメントを用いた部分床義歯. 東京, 1994, クインテッセンス出版, 33-35.

- 60) 鱒見進一, 尾座本まゆみ, 城戸寛史, ほか: 既製キーパーを利用した可徹式機構の検討. 日磁歯誌, 3: 30-35, 1994.
- 61) 三浦維四, 藍 稔: DMA 研究会業績集 2. 1990, 1-74.
- 62) 田中貴信, 星合和基, ほか: 各種磁性アタッチメントの基本特性に関する比較検討. 日磁歯誌 1: 35-44, 1992.
- 63) 石幡伸雄, 水谷 紘, 藍 稔: サマリウムコバルト合金磁石を利用した歯根挺出法. 補綴誌 30: 179-188, 1986.
- 64) 水谷 紘: エクストルージョンの実際. 東京都歯科医師会雑誌 40: 601-610, 1992.
- 65) 中村和夫, 水谷 紘, 藍 稔: 磁石ならびに磁性アタッチメントを用いた歯根挺出法. 歯科ジャーナル 38: 107-114, 1993.
- 66) 渥美和彦: 生体磁気研究の現況と問題点. 日磁歯誌 4: 1-9, 1995.
- 67) 宮本博司, 山口久雄, 池原敏孝, ほか: 電磁界の生体影響. 日磁歯誌 5: 2-23, 1996.
- 68) 志賀 健, 宮本博司, 上野照剛: 磁場の生体への影響. 東京, 1991, てらぺいあ, 3-199.