

《特別企画》

インプラントの100年と オッセオインテグレーションの進化



広島大学 名誉教授

赤川 安正

●抄 録●

歯科のこの100年の中で最も大きなイノベーションのひとつであるインプラントについて、その歴史とオッセオインテグレートドインプラントが確立された歩みについて論じた。骨内インプラントは1913年のGreenfieldの円柱状かご型インプラントから始まり、その後1969年のLinkowのチタン製ブレードベントインプラント、1976年のSchroederらの中空ホールシリンダーインプラント、1986年のKirschらの内可動式円柱状インプラント（IMZ インプラント）、我が国の川原によるアルミナ単結晶インプラント、その他のアパタイトインプラント、アパタイトコーティングインプラントなどが用いられた。しかし、Brånemarkが1965年に開発したオッセオインテグレーションとオッセオインテグレートドインプラントの登場により、インプラント治療の予知性は格段に高まり、1990年代に同インプラントは世界中に普及し、現在の標準になっている。その転換点になった1988年のNIH Consensus Development Conference（NIHコンセンサス醸成会議）と現代のインプラントの成功の基準のコンセンサスを得た1998年のトロント会議についても紹介した。

キーワード：イノベーション、オッセオインテグレーション、オッセオインテグレートドインプラント、NIHコンセンサス醸成会議、トロント会議

はじめに

歯科のこの100年の歩みの中で、大きなイノベーションのひとつがオッセオインテグレートドインプラントであることは疑う余地がなく、歯と歯列の欠損から生じる咀嚼・構音機能と審美性の問題を確実に解決できる補綴歯科治療のひとつとなっている。ここでは、インプラントの変遷と予知性の高いインプラント治療となったオッセオインテグレートドインプラントについて、歴史を振り返りながら論じる。

I. インプラントの定義・種類とその変遷

インプラントとは、外科手術によって生体に埋入される人工物のことであり、失われた歯と歯列の代用と

して用いるものを口腔インプラントあるいは歯科インプラントと言い、歯科では広義にこれをインプラントと呼ぶ場合が多い。また、狭義に生体に埋入されたインプラント体をインプラントと呼ぶこともある。

インプラントの種類には、骨内インプラント、骨膜下インプラント、骨貫通インプラント（ステープルインプラント）、歯内骨内インプラント、粘膜内インプラント（ボタンインプラント、ムコーザルインサート）などがある。骨内インプラントは、文字通り、インプラント体を顎骨内に埋入する。骨膜下インプラントは、顎骨面を印象して製作されるメタルフレームを骨膜下で顎骨の上に設置し、そのフレームと一体化している支台に上部構造を装着する。骨貫通インプラントは下顎に多く用いられ、長いポストを下顎無歯顎前

歯部に埋入して上下に貫通させ、弓状の基板と骨内固定用スクリューで連結する。歯内骨内インプラントは、長いピンを天然歯の歯根に貫通させて骨内に埋入する。粘膜内インプラントは、義歯床粘膜面に突出して設置してあるボタンをあらかじめ形成されている顎堤粘膜の窩に埋入して、義歯の維持力を発揮させる。

これらのインプラントのうち、骨膜下インプラント、骨貫通インプラント、歯内骨内インプラント、粘膜内インプラントなどは、現在ほとんど用いられていない。現在インプラントといえば、骨内インプラントのことであり、今日のインプラント治療では、顎骨に形成された骨窩に埋入したインプラント体を代替の歯根として用い、支台となるアバットメントを連結して（あるいはインプラント体とアバットメントが一体となっているものもある）、このアバットメントに上部構造を装着する。

II. 骨内インプラントと

オッセオインテグレーションの歴史

骨内インプラント（以下、インプラント）の歴史は古くマヤ文明（紀元前100年～紀元後1500年）に遡ることができ、コパン遺跡から緑色の石を彫刻したインプラントが見つかっている。しかしながら、文献レビューからは、現在のインプラントのプロトタイプは、1913年のGreenfieldが開発した白金・イリジウム合金製の円柱状かご型歯根部に歯冠部を連結するものに見ることができる¹⁾。1939年にはStrockがコバルトクロム・モリブデン合金製のスクリューインプラントを1回法で埋入している。その後種々のスクリューインプラントが応用されたが、1969年Linkowは革新的なチタン製ブレードベントインプラントを発表した²⁾。

このインプラントでは、タービンを用いて顎骨に埋入する溝（チャンネル）を形成し、刃状（ブレード）でそこに窓（ベント）が開いている板状のインプラント体を槌打して、その溝に埋入する。こうしてベント内に骨が新生して嵌合し、ブレード周囲にも新生骨が広く取り囲むことで骨内の維持を得た。また、天然歯と連結することにより、ブレード周囲に薄い線維性組織ができ、これを擬似歯根膜と呼んで天然歯と同様の動きと機能を発揮するとした（図1B）。このインプ

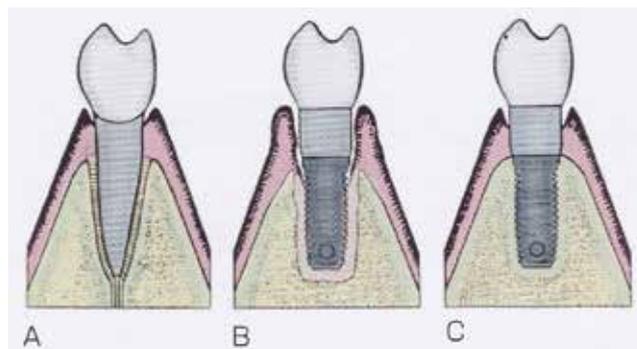


図1 歯およびインプラント・骨界面の模式図

- A：天然歯・骨界面：歯根膜が介在している。
 B：インプラント・骨界面：線維性組織が介在している。
 C：インプラント・骨界面：何も介在しておらず、骨組織が直接接触している（オッセオインテグレーション）。

(Brånemark P-I, Hansson BO, Adell R, et al: Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. Almqvist & Wiksell International, Stockholm, 1977.⁷⁾より作成)

ラントは、確かに比較的長期に口腔内に残存して機能したのもあったが、時間とともにブレードは沈下する問題点があった。スクリュー型や歯根型のインプラントでも、骨内の維持を確実にしようと、1976年にはスイスのSchroederらが中空ホールシリンダーインプラントを発表³⁾、1986年にはドイツのKirschらがシリンダー（円柱）の左右にウイングを付け、このシリンダー内に緩衝材のエレメントを入れた内可動式円柱状インプラント（IMZインプラント）を報告した⁴⁾。1970年代の我が国では、大阪歯科大学の川原がアルミナ単結晶（人工サファイアとも呼ばれた）を素材とするスクリューあるいはT字の板型のインプラントを開発した⁵⁾。このサファイアインプラントはセラミックスではあるものの高い強度を持ち、組織親和性にも優れて周囲粘膜ともよく調和したが、線維性組織がインプラントと骨の間に介在し、わずかに動いていた（図1B）。また、アパタイトインプラントやアパタイトコーティングインプラント、ジルコニアインプラントなども開発されたが、確実性のある臨床展開は十分ではなかった。

III. インプラントの成功の変遷とコンセンサス

1970年代にあっては、インプラント体は天然歯と連結することが原則となっていた。1978年National Institute of Health (NIH) とハーバード大学は共

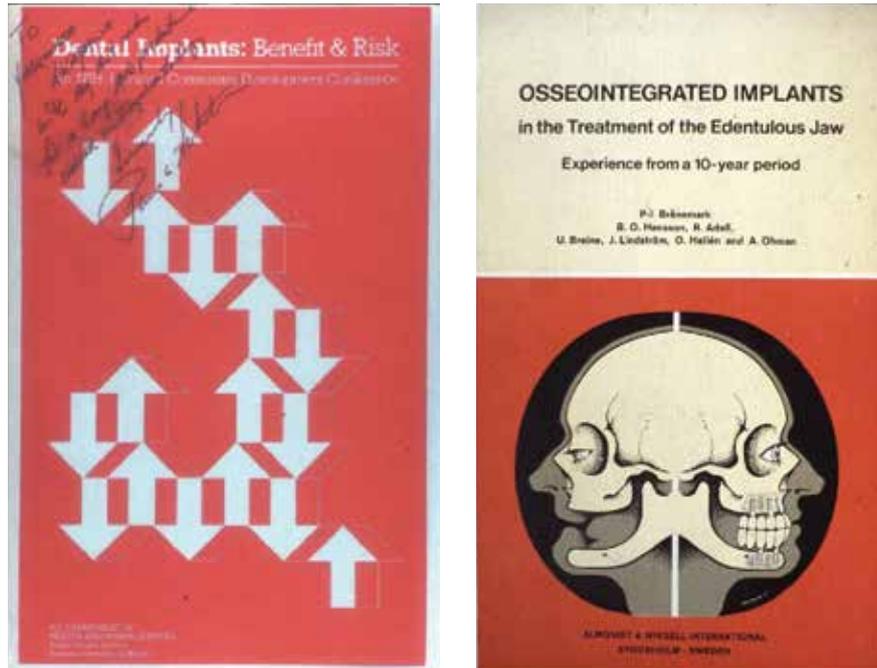


図2 NIHハーバード会議の報告書⁶⁾とBrånemarkらの著書⁷⁾

左：NIHハーバード会議の報告書。インプラントのBenefitとRiskが述べられ、ブレードベントインプラントの成功の基準が記載されている。

右：Brånemarkらの著書。オッセオインテグレートドインプラントが初めて表現され、インプラントの新しい概念（オッセオインテグレーション）と研究成果並びに無菌顎に適用したボーンアンカードブリッジの10年の臨床成績が記載されている。

同でインプラントのBenefitとRiskを議論する会議（NIHハーバード会議）を米国ボストンで開催した（図2左）。ここでは、ブレードベントインプラントを中心に成功の基準が提示され、インプラントの成功および有効性は、インプラント体の少しの動揺やX線透過像を許容し、症例の75%以上が5年間機能していることとした（表1左）⁶⁾。一方、北欧のスウェーデンにおいては、1965年からBrånemarkらにより純チタン製スクリューが開発され、臨床応用されていた

（図2右）⁷⁾。これがオッセオインテグレートドインプラントであり、ブレードベントインプラントとは全く概念と術式が異なっていた（図1B、C）。

このオッセオインテグレートドインプラントは、Brånemarkの提唱するハードとソフトが見事に具体化されている。ハードは削り出しの表面を持つ「純チタン製スクリュー（フィクスチャー）」や「高トルク・低速回転エンジン」であり、ソフトは「最小限の手術侵襲」と「2回法」であった。フィクスチャーを埋入

表1 インプラントの成功の基準

NIHハーバード会議で提唱された基準 ⁶⁾	Albrektssonらにより提唱された基準 ¹⁰⁾
<ol style="list-style-type: none"> 1. 各方向に1mm以下の動揺 2. X線学的に観察される透過像は基準にならない 3. インプラントの垂直的な高さの1/3以下の骨吸収 4. 治療不可能な歯肉炎、炎症および感染がない、隣在歯には損傷がない、知覚異常や知覚麻痺がない 5. 75%以上の症例が5年間機能する 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 診査時に個々の連結されていないインプラントが動揺しない 2. X線学的にインプラント周囲に透過像を認めない 3. インプラント埋入後1年以降の経年的な垂直的骨吸収は0.2mm以下である 4. インプラントによる持続的および非可逆的な兆候や症状（疼痛、感染、神経麻痺、知覚異常、下顎骨損傷など）がない 5. 上記の条件下で、5年成功率85%が最低の成功基準とする

両者は、インプラントの動揺度、X線透過像、骨吸収、成功率などで大きな違いがある。

するための骨窩は、注水下で高トルクエンジンを用いて極めて低速回転で（当時我が国にはこのようなエンジンはなかった）骨熱傷の臨界点である48度を超えないようにしながら組織侵襲を最小限にして形成する。その後、超低速回転でフィクスチャーを骨窩に埋入、粘膜骨膜弁で被覆して、フィクスチャーに力をかけないで、無負荷の状態（免荷、負荷をかけない）で周囲の骨治癒を進める（2回法）。これにより、フィクスチャー表面に骨組織が直接接触する状態（オッセオインテグレーション）を成立させた^{7,8)}（図1C）。このオッセオインテグレーションの発見は、Brånemarkが行っていた血液の微小循環の研究中に、観察に用いた純チタン製チャンバーを大腿骨から外そうとしても外れなかったことによる⁹⁾。このオッセオインテグレーションは「生活を営む骨組織と機能負荷を受けているインプラント体表面との直接の構造的ならびに機能的結合」と定義される。それゆえ、線維性組織の界面をもつブレードメントインプラントと異なり、オッセオインテグレーションしているフィクスチャーはまったく動かない（図1B、C）。

この「臨床的に動かない」オッセオインテグレートッドインプラントは1965年からはスウェーデンのイエテボリだけで無歯顎者に限って適用され、その成功率は術後5～12年で下顎93%、上顎84%であった（図2右）⁷⁾。これらの結果はブレードメントインプラントの成功の基準をはるかに超えていたが、前述のNIHハーバード会議では十分に議論されていなかった。そこでBrånemarkの弟子であった助教授のAlbrektssonらは、1986年The International Journal of Oral and Maxillofacial Implantsの創刊号に新しい成功の基準を提示した（表1右）¹⁰⁾。この基準はNIHハーバード会議での基準（表1左）⁶⁾とは大きく異なっていたため、激しい論争が生まれ、世界中から再度のコンセンサスを求める声が上がった。オッセオインテグレートッドインプラントは北米にはすでに1982年にZarbらによりToronto Conference on Osseointegration in Clinical Dentistryで紹介され、我が国では1983年関根と小宮山がBrånemarkを招聘してオッセオインテグレートッドインプラント治療を開始した。

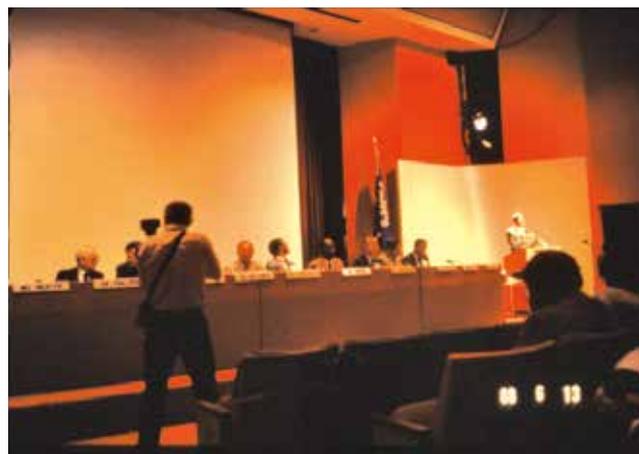


図3 NIH Consensus Development Conference
（コンセンサス醸成会議）¹¹⁾

パネルのメンバーは講演者が報告するインプラントの成績を評価し、その後、声明を発表した。

1988年NIHはCohenをパネルチェアとするNIH Consensus Development Conference（コンセンサス醸成会議）を米国ベセスダで開催した（図3）。会議の終了後、パネルは声明を発表し、「線維性組織の界面がインプラントの長期成功率を低下させることは確かではないが、歯根型インプラントの最も長期の残存率は界面に骨を持つインプラントシステムによって達成されている」とした¹¹⁾。線維性組織の界面は、1960年代のスクリーインプラントやブレードメントインプラント、さらにはアルミナ単結晶のサファイアインプラントなどに見られたものであり、当時はこれを疑似歯根膜として天然歯歯根膜と同様の機能を発揮するものとしていた（図1B）。しかし、この線維性組織は病理組織学的には異物反応としての被包化とみなされることから、パネルの声明はオッセオインテグレーションと表現しなかったものの、事実上オッセオインテグレーションの優位性を示すものであった（図1C）。それゆえ、この会議以降「臨床的に動かない」オッセオインテグレートッドインプラントが長期の残存を確かにするとみなされ、オッセオインテグレートッドインプラントは加速度的に普及していった。この過程でインプラントのデザインも変化し、中空ホールシリンドラーやウイングなどの特殊なデザインはなくなり、スクリーと円柱形の2つに集約されていく。

1998年患者のQOLの向上を目指すインプラント治



図4 トロント会議

トロント大学歯学部にて世界中から集まったレビューアー12名、国際パネリスト17名、カナダ歯科医師会13名、ゲスト10名の52名が文献レビューと議論を重ね、オッセオインテグレートッドインプラントの成功の基準のコンセンサスを作成した^{13, 14)}。

(赤川安正, 他編: よくわかる口腔インプラント学 第3版, 4, 医歯薬出版, 東京, 2018. ¹²⁾より引用)

療成績のエビデンス(科学的根拠)を集める研究を推進することを目的として、ZarbとAlbrektsonが議長を務めるトロント会議がカナダのトロント大学で開催された(図4)¹²⁾。この会議で合意されたインプラントの成功の新しい基準は、「インプラントは患者と歯科医師の両者が満足する機能的および審美的な上部構造をよく支持するもの」であった(表2)^{13, 14)}。この会議には日本から著者の赤川がただ一人招かれたが、招待参加者はインプラント分野の国際的エキスパートと口腔インプラント学の進歩をリードする主要な国際ジャーナルの編集長ら52名のみであり、会議で提唱されたインプラントの成功の基準は当時のスタンダードになった。

2006年Academy of Osseointegration (AO)は、現代のインプラント歯学のコンセンサスを協議する会議を米国イリノイ州で開催し、臨床上重要な8つの疑問に答えようとした。ここでは、1980年代から2006年までの臨床論文がレビューされ、評価が試みられた。しかし、各々の論文でインプラントの残存と成功の基準があいまいであったり記載が無かったりしたので、コンセンサスを作る前提としてのインプラントの残存と成功の基準を定め、これに従って臨床論文の治療成績を評価し、AOコンセンサスレポートとした¹⁵⁾。

2008年トロントで開かれた「再び訪れたオッセオイ

表2 現代のインプラントの成功の基準^{13, 14)}

- インプラントは、患者と歯科医師の両者が満足する機能的、審美的な上部構造をよく支持している
- インプラントに起因する痛み、不快感、知覚の変化、感染の兆候がない
- 臨床的に診査する時、個々の連結されていないインプラントは動揺しない
- 機能開始1年以降の経年的な1年ごとの垂直的骨吸収は平均0.2mm以下である

(Zarb GA and Albrektsson T (赤川安正監訳): インプラント評価基準の新しいコンセンサス—トロント会議の全容—, クインテッセンス・デンタルインプラントロジー別冊, クインテッセンス出版, 東京, 2001. ¹⁴⁾より引用)

「インテグレーション会議」では、インプラントの成功のコンセンサスは全く議論されなかった。その後もEuropean Association for Osseointegration (EAO)がいくつかのコンセンサス会議をテーマ別に開催したが、いずれも成功の基準に関するものではなかった。従って、オッセオインテグレーションを基盤とする1998年のトロント会議で示されたインプラントの成功の基準が、現代においても成功の基準とみなしてよいと考える(表2)。

おわりに

現在のインプラントはイノベーションが次々と起こり、インプラント体表面を機械研磨から粗造へ、インプラント体の埋入レベルを2回法から1回法へ、埋入時期を晩期埋入から抜歯即時埋入へ、負荷時期を待期負荷から即時負荷(イミディエイトローディング)へ、骨再生誘導(Guided Bone Regeneration, GBR)、ガイドドサージェリー、プラットホームシフティングなど、ハードもソフトもさらに進化を続けている。これらはいずれも「より早い、より確実なオッセオインテグレーションの長期維持」を追求するものであり、現在のインプラントがいかにオッセオインテグレーションに支えられているのかを物語る。今後オッセオインテグレートッドインプラントの臨床と研究がさらに進み、インプラント治療はより確かなものになると考えられる。

文 献

- 1) Greenfield EG: Implantation of artificial crown and bridge abutments. The Dental Cosmos. 55: 364-369, 430-

- 439, 1913.
- 2) Linkow LI : The endosseous blade vent. *Newsl Am Acad Implant Dent.* 18 : 15-24, 1969.
- 3) Schroeder A, Pohler O, Sutter F : Tissue reaction to an implant of a titanium hollow cylinder with a titanium surface spray layer. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd.* 86 : 713-27, 1976 (German).
- 4) Kirsch A, Mentag PJ : The IMZ endosseous two phase implant system: a complete oral rehabilitation treatment concept. *J Oral Implantol.* 12 : 576-589, 1986.
- 5) 川原春幸 : 新型セラミックインプラント“Bio-Ceram”について. 歯界展望別冊インプラントの臨床. 医歯薬出版, 東京. 207-214, 1975.
- 6) Dental Implants : Benefit and Risk. NIH Consensus Statement Online 1978 Jun 13-14 [cited year month day] : 1(3) : 13-19.
- 7) Brånemark P-I, Hansson BO, Adell R, et al : Osseointegrated implants in the treatment of the edentulous jaw. Experience from a 10-year period. *Almqvist & Wiksell International, Stockholm,* 1977.
- 8) Brånemark P-I : Osseointegration and its experimental background. *J Prosthet Dent.* 50 : 399-410, 1983.
- 9) 小宮山彌太郎 : インプラントの歴史. *The Bone.* 23 : 267-270, 2009.
- 10) Albrektsson T, Zarb GA, Worthington P, et al : The long-term efficacy of currently used dental implants : A review and proposed criteria of success. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 1 : 11~25, 1986.
- 11) Dental Implants. NIH Consensus Statement Online 1988 Jun 13-15 [cited year month day] : 7(3) : 1-22.
- 12) 赤川安正, 他編 : よくわかる口腔インプラント学 第3版, 4, 医歯薬出版, 東京, 2018.
- 13) Zarb GA, Albrektsson T : Consensus report : towards optimized treatment outcomes for dental implants. *J Prosthet Dent.* 80 : 641, 1998.
- 14) Zarb GA and Albrektsson T (赤川安正監訳) : インプラント評価基準の新しいコンセンサス・トロント会議の全容. クインテッセンス・デンタルインプラントロジー別冊. クインテッセンス出版, 東京, 2001.
- 15) Lacono VJ, Cochran DL (赤川安正 監訳) : インプラント治療のためのAOコンセンサスレポート. クインテッセンス・デンタルインプラントロジー別冊. クインテッセンス出版, 東京, 2008.

Implant History in the Last 100 Years and the Evolution of Osseointegrated Implant

Professor Emeritus, Hiroshima University

Yasumasa AKAGAWA

Regarding the implant which is one of the biggest innovations in the last 100 years of dentistry, implant history and the progress of establishing osseointegrated implant were described. Endosseous dental implants started with Greenfield's cylindrical cage implant in 1913, followed by Linkow's titanium blade vent implant in 1969, by Schroeder's hollow cylinder implant in 1976, and by Kirsch's IMZ two phase implant system in 1986. Alumina single-crystal implant by Kawahara in Japan and other apatite implant and apatite-coated implant were also used. However, introduction to osseointegration developed by Brånemark in clinical dentistry provided more predictability of implant treatment and the implant have has been used around the world since 1990. Consequently, osseointegrated implant has become the current standard implant. Some turning points such as the 1988 NIH Consensus Development Conference and the 1998 Toronto Conference were also introduced.

Key words : Innovation, Osseointegrated Implant, Osseointegration, NIH Consensus Development Conference, Toronto Conference