

最終報告会

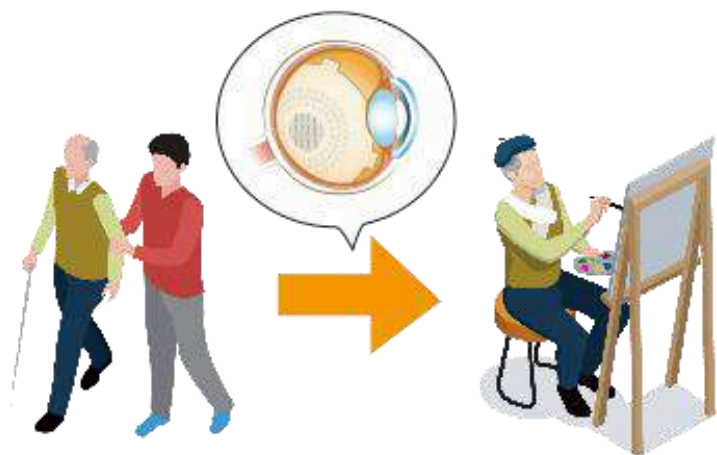
「身体機能や脳・神経機能の拡張技術によって 誰もがなりたい自分になれる社会」

発表資料

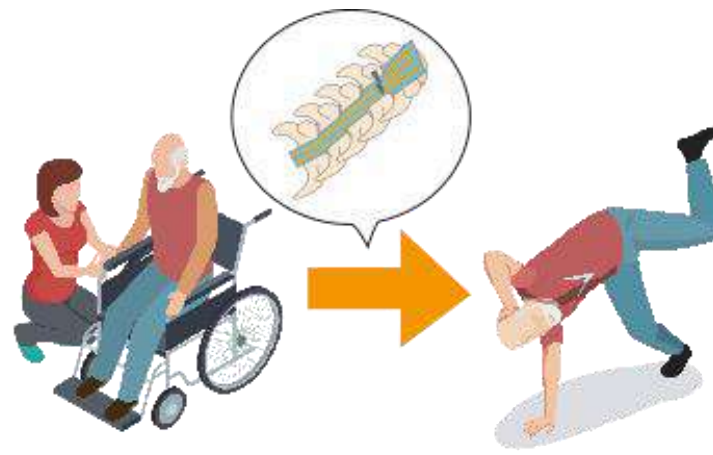
2021年7月17日（土）

埋込サイボーグ技術社会実装検討チーム
チームリーダー 藤原 幸一

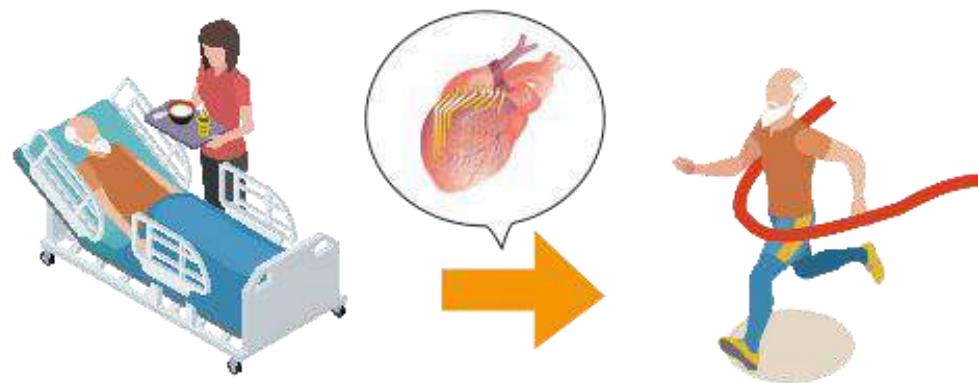
身体機能や脳・神経機能の拡張技術によって誰もがなりたい自分になれる社会とは？



デバイスを埋め込むことで、視覚機能が
絵画が描けるまで回復する



下半身が付随となっても、神経を刺激することで
体操ができるようになる



寝たきりの人でも、心肺機能を強化する
ことでマラソンに挑戦できる

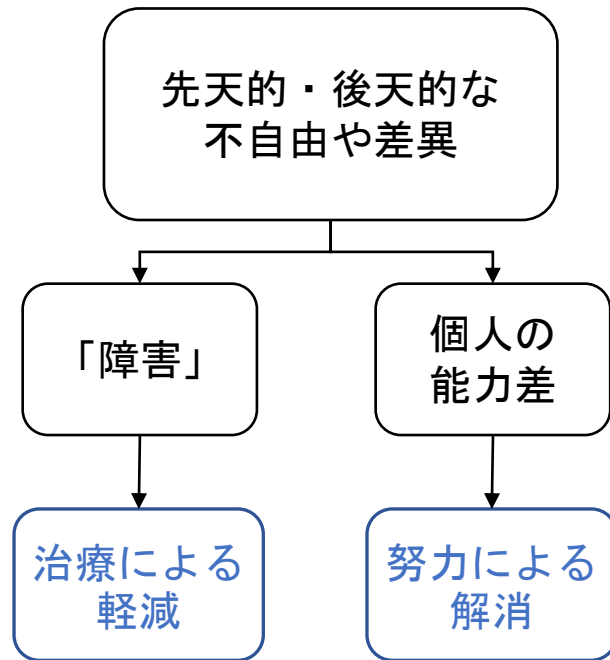
提案する社会像の概要 _ 目標とする社会に向けて

われわれが提案するMS目標は、2050年までに身体機能や脳・神経機能の拡張技術によって誰もがなりたい自分になれる社会を実現することである

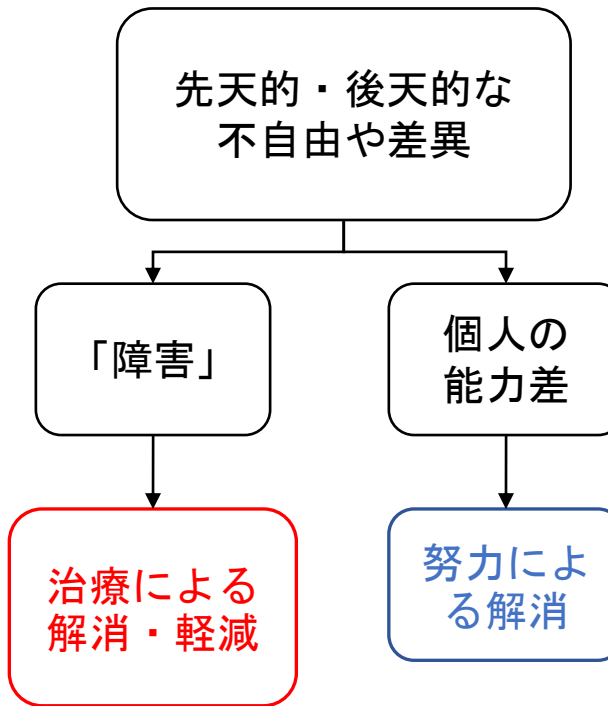
現在の社会

過渡的な社会

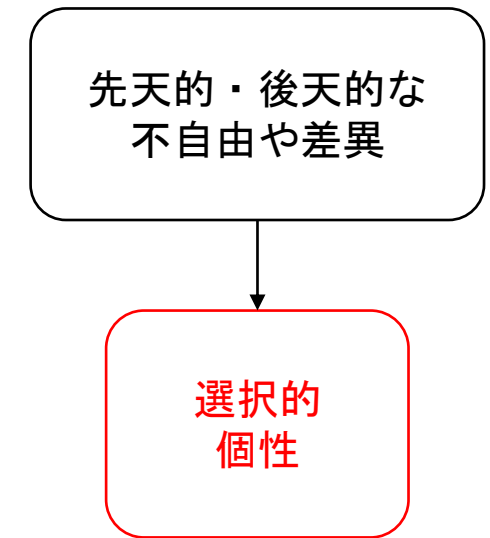
2050年の社会



いずれも当事者にとってのハードルが高く、容易ではない



埋込み型サイボーグ技術によって治療・回復技術が進展する



人間が持つ機能の可操作化が高まり、発生した個人間の差異は選択的個性に置換されることになり、なりた自分になれる

技術名称の拡張_「サイボーグ」と「インプラントブル」

われわれはテーマの中心となる技術の名称として、これまで用いてきた「埋込み型サイボーグ技術」に加えて「インプラントブルデバイス技術」を用い、場面によって使い分ける

本技術を表す言葉	メリット	デメリット	適切な場面
埋込み型サイボーグ 技術	・ イメージを持ちやすい ・ アニメ・SF作品を通じて国民が「サイボーグ」に慣れ親しんでいるという日本の強みを活かせる	・ 先入観を持たれやすい ・ 技術範囲を狭く捉えられてしまう	・ 科学や技術への好奇心が強いひとを対象にしたイベント（サイエンスアゴラやカフェなど） ・ ワクワク感を重視するイベント
インプラントブル デバイス技術	・ 新語のため先入観なくフラットに使うことができる ・ TLが実績を重ねているウェアラブルデバイスの自然な延長表現であるため、現在のレピュテーションを足場にできる	・ イメージを喚起しにくい	・ 患者や困難を抱えた方と真摯に向き合う場面 ・ 研究者・技術者・医療者と専門的な議論を交わす場面や論文等

場面によって適切なワーディングを行うことで、社会実装における摩擦を軽減する

埋込み型サイボーグ技術によって誰もがなりたい自分になれる社会を実現するためには、
「社会や制度が想定する人間像の変更や身体の再定義」が必要となる

ELSI

倫理的

ワークショップで得られた代表的な知見

- 先天的に不自由を抱えた子どものサイボーグ化治療に関する決定権は誰にあるのか？
- 不自由がない「標準的」な人体への指向が強まり、サイボーグ化治療を選ばない人への包摂や倫理が問題になるのではないか？
- 刑法を始め、現在の法体系は接続された何かは「もの」として扱うが、神経接続された人工物（生体材料を含む）を人体として扱うには法体系の広範な改正が必要になるのではないか？
- この技術によって回復/拡張された能力は個人の所有として扱われるのか？身体的所有権に含まれるのであれば、AIやロボットと異なり人間の雇用と競合しない社会実装の道筋があるのではないか？

法的

社会的

ワークショップの結果、当初想定していた「医療機器として関わる薬機法」「生体信号のプラットフォーム共有に関わる個人情報保護法」だけではなく、

- **社会や制度が想定する人間像**
- **身体の再定義**
- **医療と機能拡張の境界**

が迫られる、人文・社会科学を総動員するテーマであることが明らかになった

さらにワークショップにおける指摘に基づきELSI専門家にヒアリングを行った

ワークショップでの意見を踏まえ、ELSI専門家との議論を試みたところ、技術部分の研究開発だけでなく、社会的問題に関しても研究が必要であることがわかった

大阪大学ELSIセンターとの議論における指摘

- なりたい「自分」は社会的に、人との比較で決まってい
いく相対的なものであるため、そもそも規定することが困難なのではないか？
- 自己の可操作性が高まった結果、「運命」視点が希薄
化し、「諦める」ことを受容することができなくなる
のではないだろうか？
(不妊治療に関する問題と類似)
- 「技術的にできる」ということと「だれもが使える」
ということの差をどのように埋めていくか？
- こどもへの適応が可能となるなら、ゲノム編集ベビー
／デザイナーベビーの議論も可能にならないとおかし
いとなる可能性もあるのではないか？

京都大学稲谷先生との議論における指摘

- なりたい自分という欲求は社会的文脈による。現時点での「こう
ありたい」「こうあるべき」という欲求はプラスの側面だけでな
く可能性を狭めることもある。
- これは身体観だけでなく価値観そのものの議論になる。法は価値
観をセメントするために存在しているため、この技術の社会実装
に関する法制度の検討は、法制度の背景にある社会的な価値観や
前提の議論である。
- 例えば、EUの法制度を考えると、彼らは、人間は自律した個人で
あるべきであると考えており、自律を損なうものは禁止する。
- この技術は、法制度の解釈や技術的な勝ち負けではなく、根本的
な価値観・人間観・世界観のところで受け入れられない可能性が
ある。ここで作ろうとしている社会における価値観体系を言語化
して対抗軸を打ち出すべき

総じて、これらの論点はインプラントブル技術だけに固有のものではなく、
既に起きている問題との双方向に影響する関連があり、専門家による研究によって
課題を整理し、解決への道筋を付けることができるのではないか？

法整備の具体例としては、薬機法と保険制度の適用範囲とその背景にある規制と保険のあり方そのものが課題となる

薬機法

薬機法における医療機器の定義：

「人若しくは動物の疾病の診断、治療若しくは予防に使用されること、又は人若しくは動物の身体の構造若しくは機能に影響を及ぼすことが目的とされている機械器具等であって、政令で定めるもの」

保険制度

現代において「なりたい自分」の実現の選択肢である美容医療は保険適用外。美容医療処置により後遺症や合併症が生じた場合においても、その治療は保険適用されない

現行の法制度でインプラントブルデバイスを想定すると...

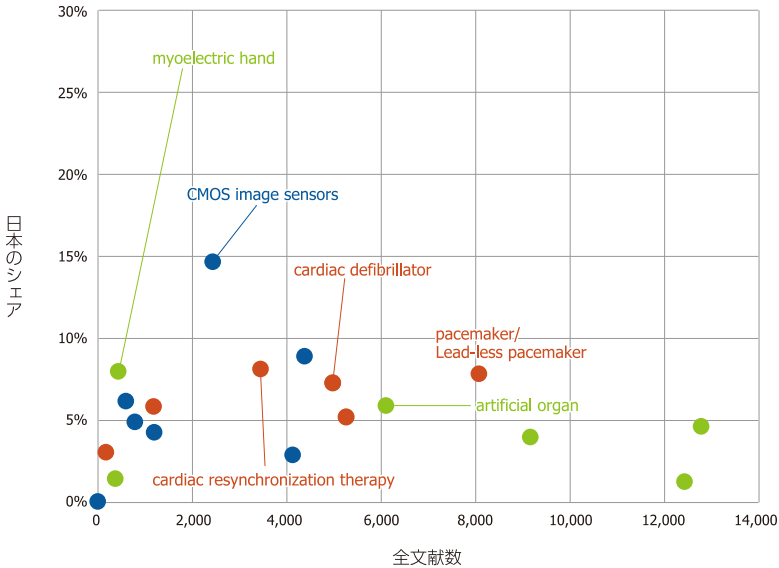
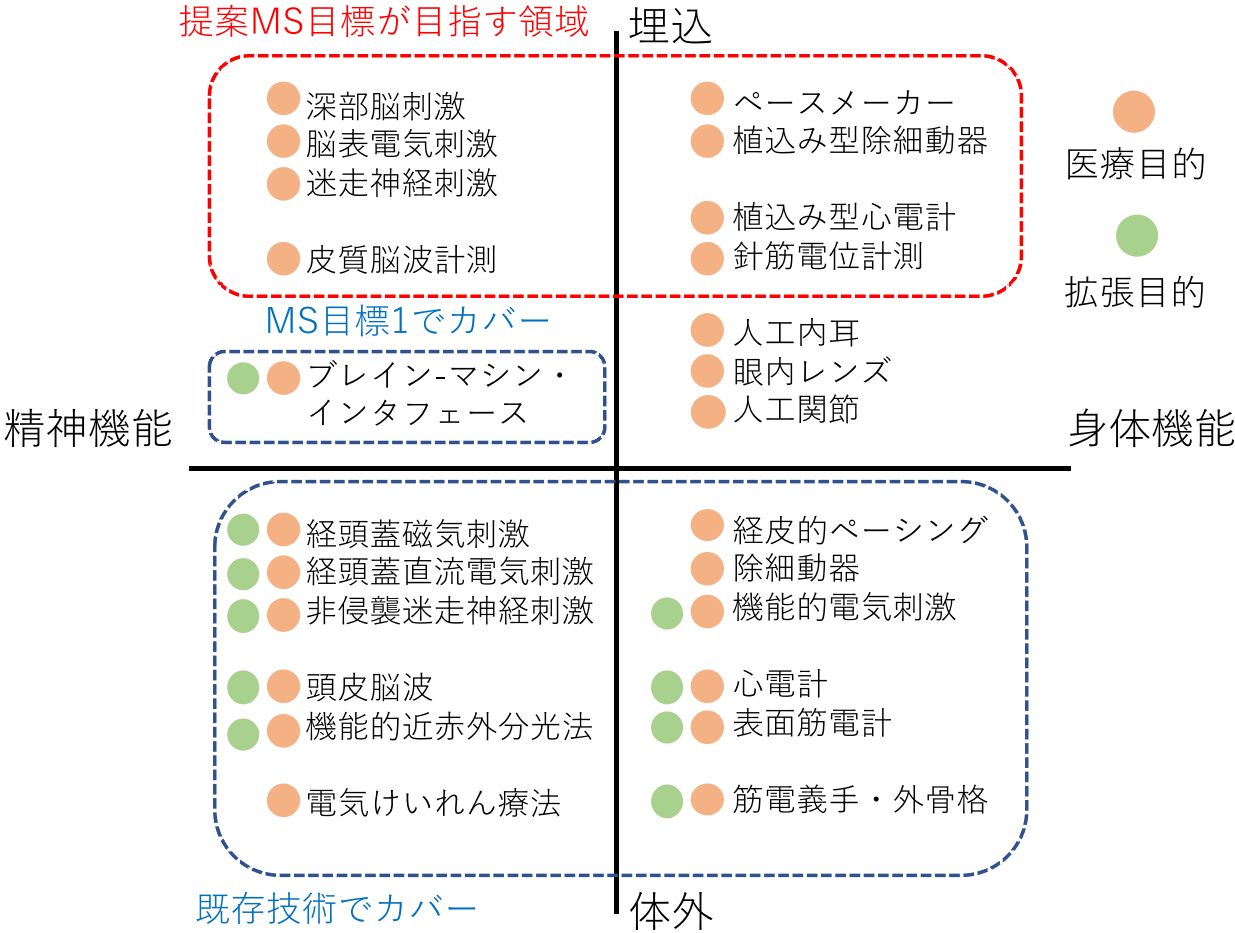
- 当初は治療目的で用いられる「医療機器（薬機法の規制対象）」として世に出ることになる
- 技術が成熟し、侵襲性が下がると非医療機器扱いも可能になる（筋電義手は用途によっては福祉機器扱い）
- 家庭用医療機器という医療機関や専門卸業者を介さずにユーザーが一般流通の形で取得可能な形もある（米国におけるApple Watchなど既に複数存在）

薬機法の対象とならない場合の埋込後の保守管理・除去・再留置を含めた安全性を管理するシステムが課題

- 機能拡張目的のデバイス埋込は保険適用とはならない可能性が高い。その場合、埋め込み後に想定されていなかったような自己や疾患の発生も保険の対象外になる
- 個人の選択の結果、生じた不利益はどうする？ 救済・補償システムを国として持つ？ 民間の保険サービス？

「なりたい自分になれる社会」において個人の選択によって発生する不利益の救済の考え方が課題

メッセージ



出典：名古屋大学 学術研究・産学官連携推進本部 URAによる調査

埋め込み型サイボーグ技術に関わる
キーワードを含む論文群は被引用数
において全体平均より高く、日本の
シェアが高いものもあることが明らかになった

③ 特に取り組むべき研究開発 _ 神経インターフェース技術

われわれはインプラントブルデバイス技術のキー要素として「神経インターフェース技術」を特定した

神経インターフェース技術とは何か？

なぜキー技術となりうるのか？

現在はどこまで技術が進んでいるのか？

人体と人工物をつなげる
接点に係る技術

1. 神経の接続や免疫の制御など
融合の成否を決める部分
2. インターフェースに着目することによって、再生医療的に造られた人体との接続をも領域的に
包含することができる

神経系から出力可能な情報は増えてきているが、接続人工物から
フィードバックする技術は未確立



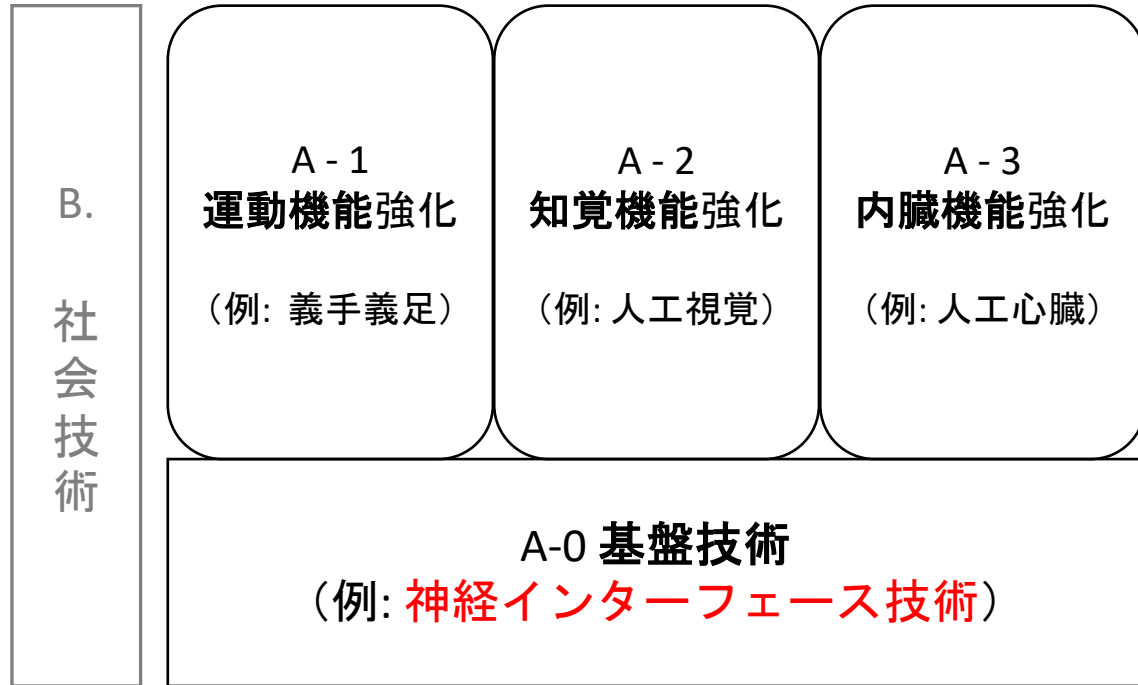
インタラクションを実現する
インターフェースが課題

神経インターフェース技術こそが実現を決定づけ、
再生医療などの隣接技術との統合と発展をもたらすキー技術である

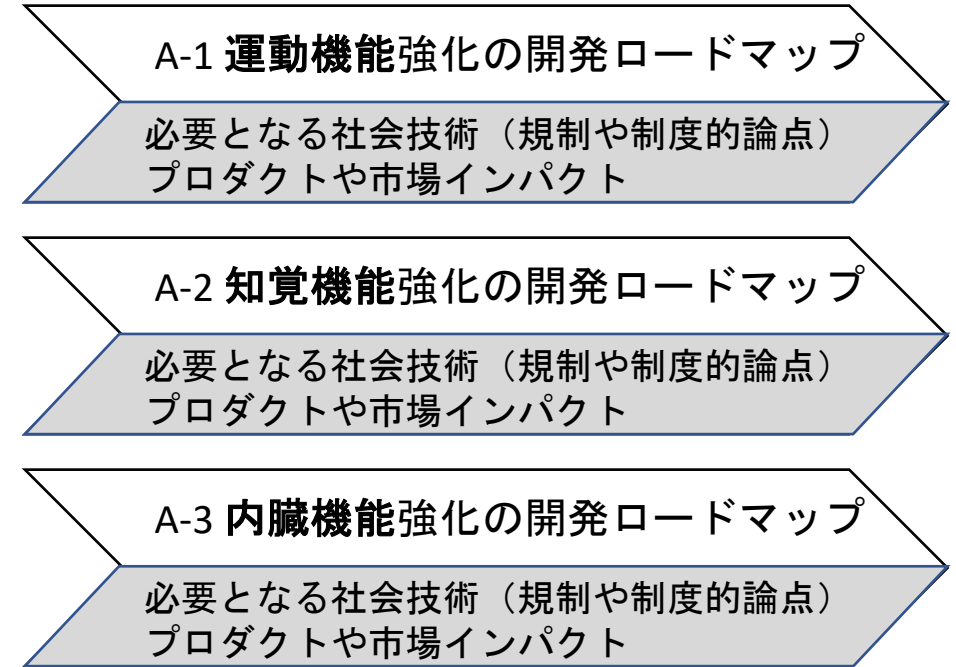
④ 提案する社会像実現に向けたシナリオ－シナリオプランニングの枠組み

社会像の実現に必要な技術を「A. 科学技術」「B. 社会技術」に分け、さらに本テーマに即して科学技術を「A-0 基盤技術」「A-1 運動機能強化」「A-2 知覚機能強化」「A-3 内臓機能強化」と精緻化した

実現に必要な技術の分解と構造化



技術開発ロードマップ作成の枠組み



* A-0 基盤技術に関しては
各ロードマップに共通の要素技術として描かれる

「A-1 運動機能強化」「A-2 知覚機能強化」「A-3 内臓機能強化」に関して要素技術を俯瞰するための技術マップと開発の時間軸を把握するロードマップを作成し、その過程でチームリーダーの大きな成長を獲得した

藤原TLと
関連する技術分野において
日本を代表する先達との議論



Inspiring

今まさに技術によって未来を作っている
研究者たちからの強い刺激を受けた

Imaginative

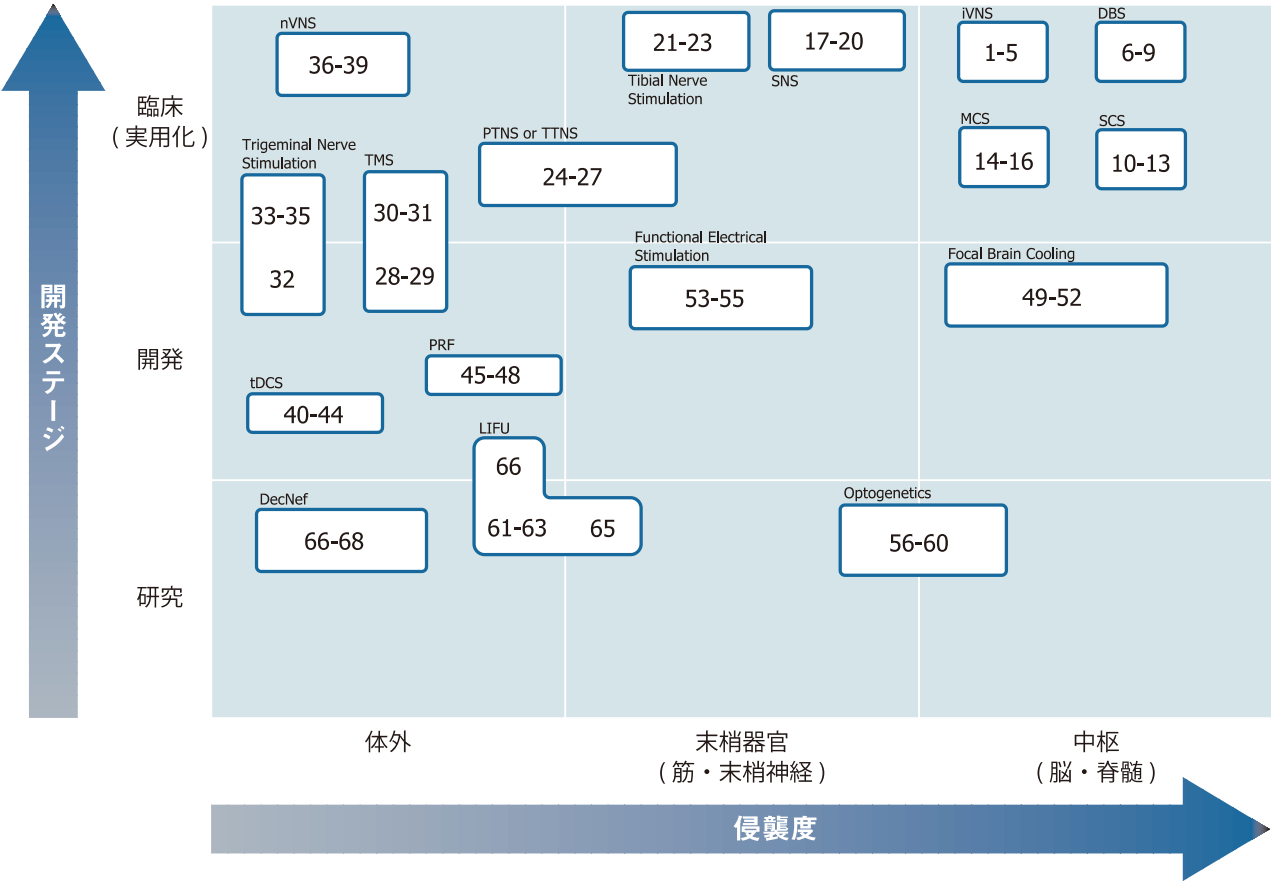
当初想定していた関連技術や応用範囲が
先達の知見によってさらに拡張した

Credible

第一人者たちのレビューを経ることによっ
てマップの信頼性が確かなものになった

A-1 運動機能強化を実現するニューロモジュレーションの技術マップ

現時点のニューロモジュレーション技術では、双方向通信を実現している例は少ない



様々な技術が既に実用化されているが、

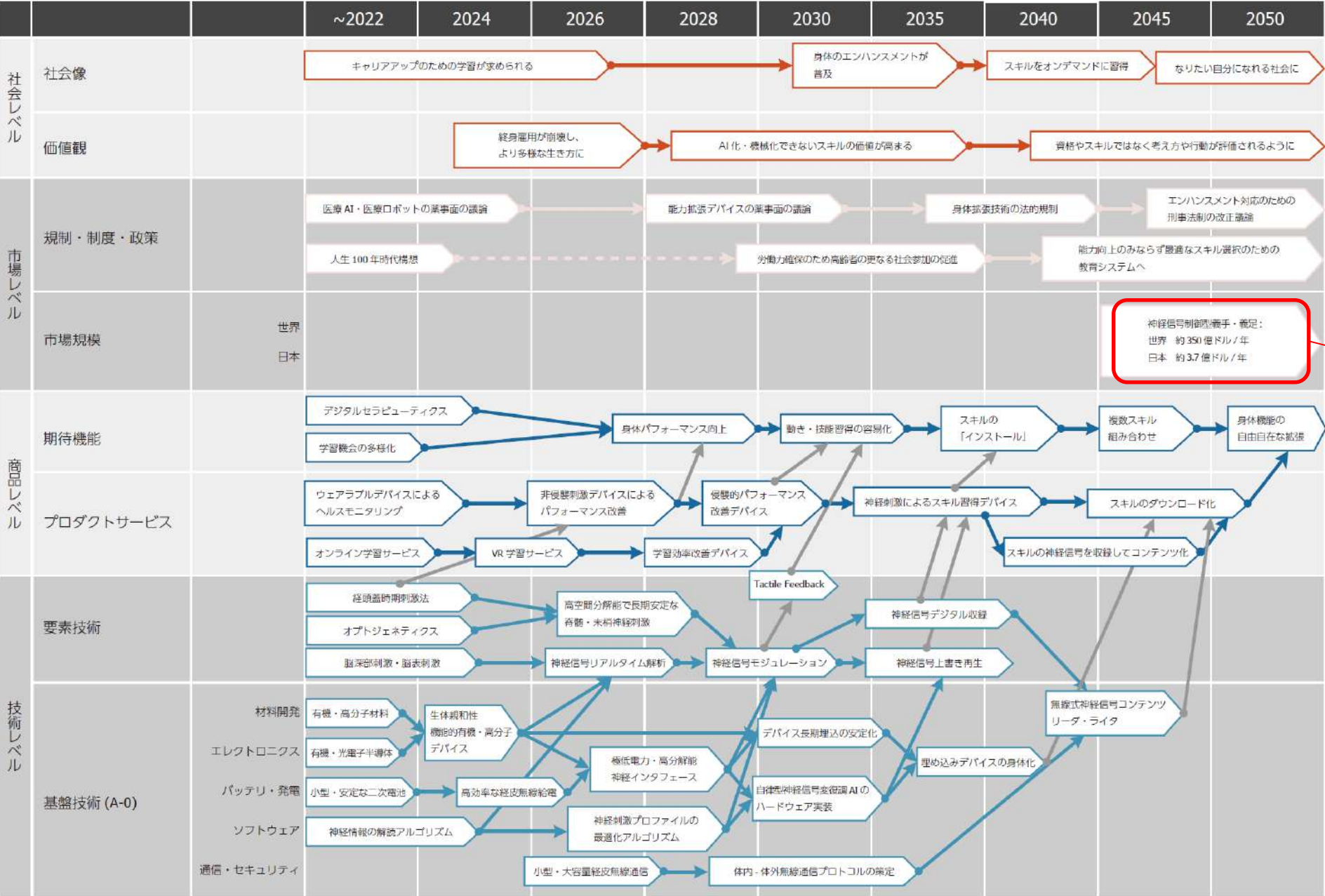
- 頭蓋磁気刺激（TMS）
- 脳深部刺激（DBS）
- 迷走神経刺激（VNS）
- 仙骨神経刺激療法（SNM）

など迷走神経など中枢神経系や末梢神経への刺激装置開発が中心

インプラントブルデバイスに必要な
双方向通信技術はまだこれから

* 図中の数字は報告書添付資料6における参考文献リスト参照

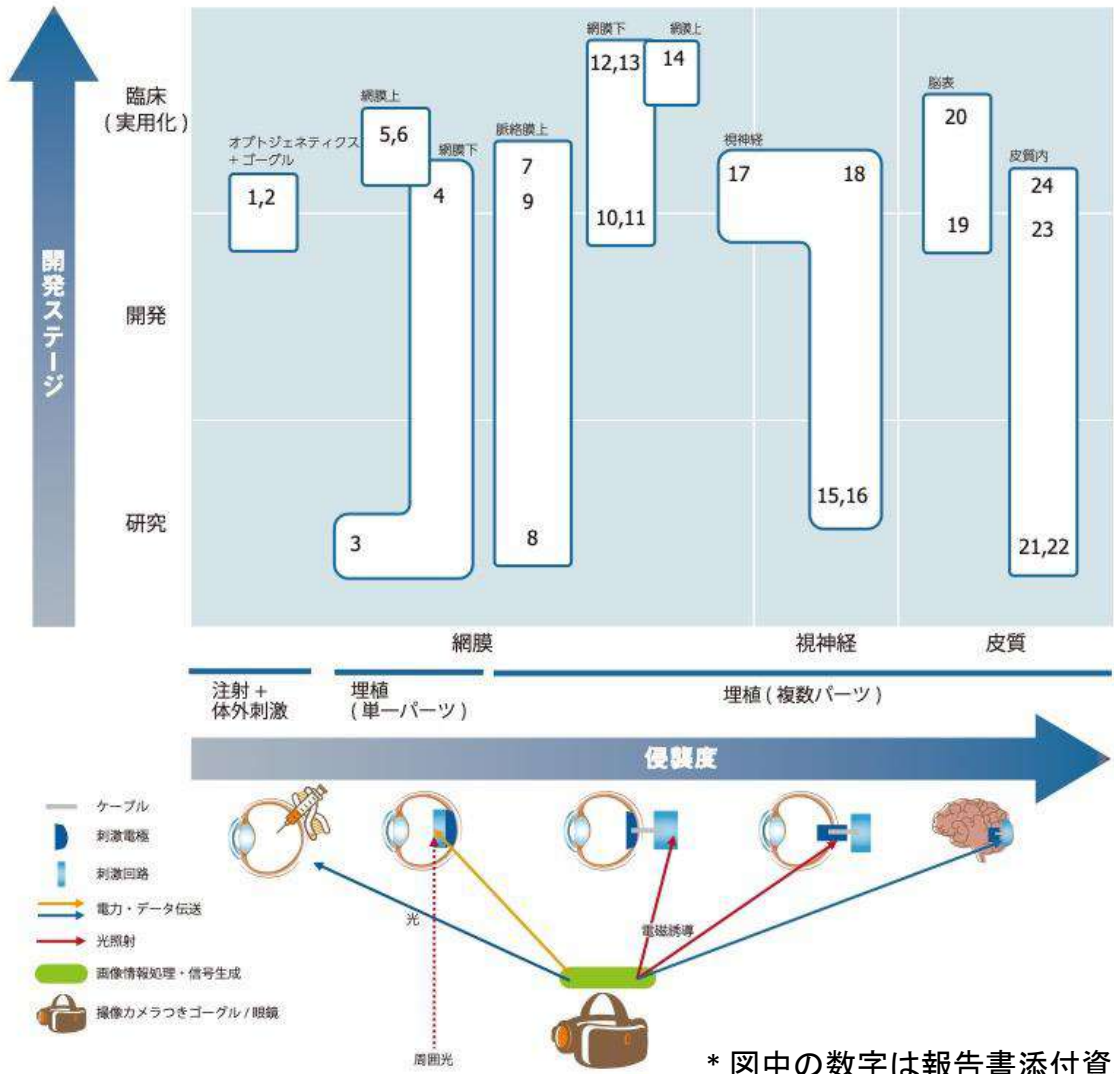
A-1 運動機能強化を実現するニューロモジュレーションのロードマップ



神経信号制御型義手・義足の市場規模は
世界全体で350億ドル/年

A-2 知覚機能強化の代表例である人口視覚技術に関する技術マップ

人工視覚技術の特徴は、単一のデバイスの埋込だけではなく、複数のデバイスを協調させて動作させる技術にある



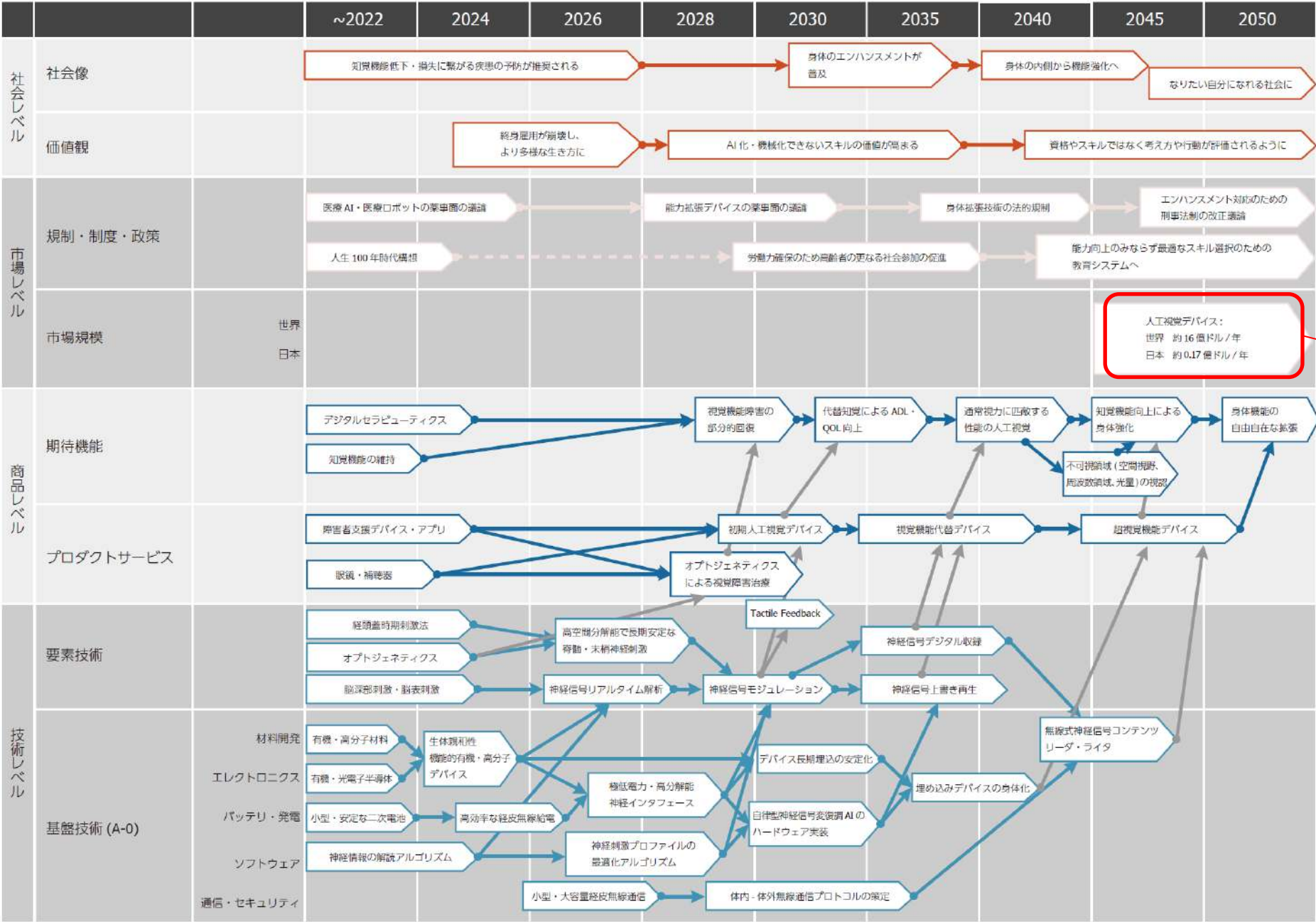
網膜付近へのデバイスの埋込だけではなく、
視神経や皮質へのデバイスの埋込も試みられている



人口視覚技術において実現している複数の
デバイスを協調させて動作させる技術が、
インプラントブルデバイス技術全般の
基礎技術になりうる

* 図中の数字は報告書添付資料6における参考文献リスト参照

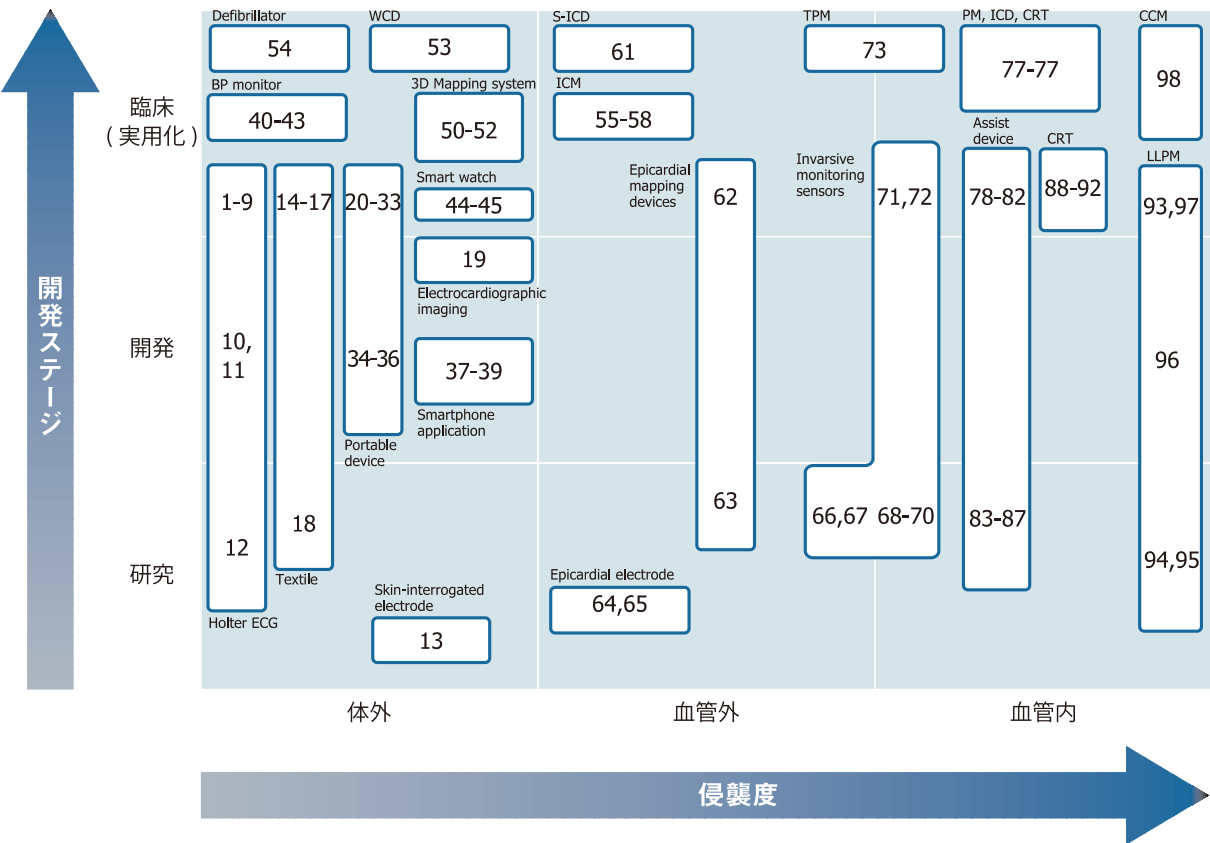
A-2 知覚機能強化の代表例である人口視覚技術に関するロードマップ



人口視覚デバイスの市場規模は世界全体で16億ドル/年

A-3 内臓機能強化の代表例である循環器治療・強化デバイスについての技術マップ

循環器治療においては心臓血管内部という非常に侵襲の高い部位に埋め込む装置も実現している

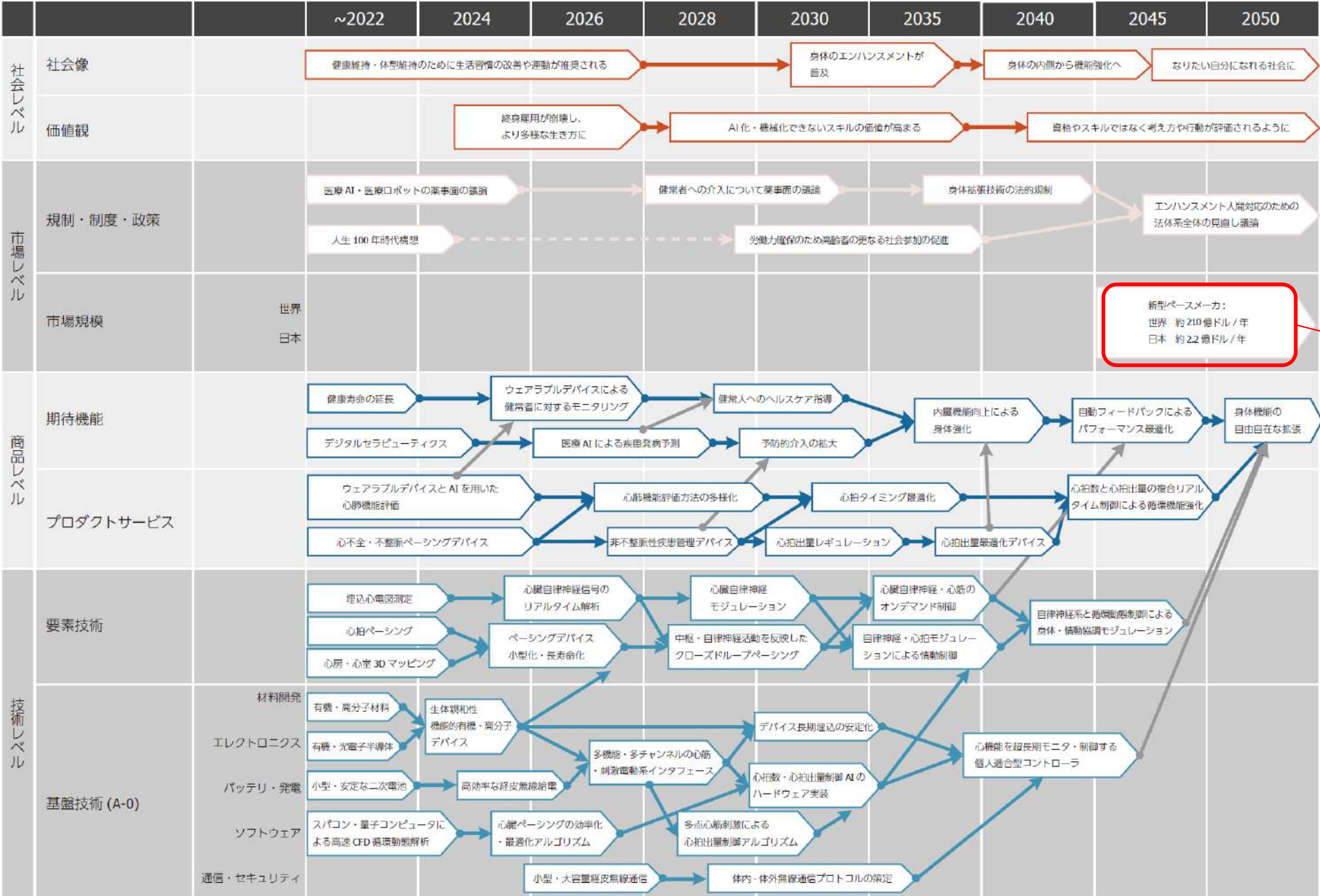


心臓血管内部に埋め込まれているデバイスのひとつ
Cardiac contractility modulation (CCM) は、
心臓に負担をかけることなく
可逆的に循環器機能を強化できる

将来的には健常者の循環器機能の強化目的
での使用もあり得る

* 図中の数字は報告書添付資料6における参考文献リスト参照

A-3 内臓機能強化の代表例である循環器治療・強化デバイスについてのロードマップ



新型ペースメーカーの市場規模は世界全体で210億ドル/年

マップ作成によって見えたマイルストーン

開始5年後

2030

2040

2050

マイル
ストーン

神経に対する双方向接続が
可能な神経信号収集・刺激
システムの開発

高分解能な神経インターフ
ェイスの実現

自律型の神経信号変復調器
(エンコーダ/デコーダ)「イ
ンプランタブルデバイスAI」
のハードウェア実装

インプラントブルデバイスAIの高
信頼性アップデータと自律的・可
塑的に接続切り替えが可能な神経
接続インターフェイスの実現

取り組む
べき開発
テーマ

- 半導体微細加工技術と機能性有機高分子材料による高生体親和性をもった神経接続電子デバイスの開発
- 長期間安定で信頼性の高い二次電池の材料および充放電制御技術の探索
- 高効率経皮無線給電(充電)技術

- 動物実験での長期常時サイボーグメカニクス接続・操作および脳活動からの機能的電気刺激の実現
- 神経活動と動作・知覚・内臓機能の常時モニタリングおよび両者の関係のモデル化
- 上記モデルと同等のAIの小型・極低消費電力ハードウェア実装
- セキュアでロバストな体内外無線通信プロトコルの策定

- デバイス-神経接続のアダプティブスイッチング技術
- インプラントブルデバイスAIの高速・高信頼性メンテナンス（リード/ライト）手法の確立

波及効果

- ◆ 重度てんかん患者などの異常脳波のモニタリング
- ◆ 運動・知覚機能の回復、リハビリでの学習効果の促進、内臓機能の調節の医療用途での普及

- ◆ 重度の障害者の回復
- ◆ てんかんや失神など不利益となる神経活動の抑制・予防

なりたい自分になれる
社会へ

調査の結果から、われわれは確信を持ってインプラントブルデバイス（埋込み型サイボーグ）技術によるイノベーションを推進すべきであると主張する

Inspiring

- 高齢化社会という喫緊かつ長期的な解決が求められる社会課題に係る処方箋である
- 他国は実用化において先行しており、日本におけるトップダウンの戦略的促進が急務
- 実現に関連する研究・技術領域や実用化に係るプレイヤーが広く、日本の英知と産業を結集してこそ戦えるテーマである
- ひとびとの創造性に革新をもたらし、現実社会における身体的制約から開放する技術である

Imaginative

- 未来の社会システムどころか、その前提となる「人間像」の変革である
- テクノロジーによって「なりたい自分になれる」明確な目標である
- 高齢化社会日本における受益者は一部ではなく全ての国民、ひいては世界の全ての人びとである
- 身体的差別や偏見の源泉をなくし、自他に対する価値観を変革する社会的転換である

Credible

- 日本が研究や開発においてプレゼンスを持っており、実用化に関する制度設計などをパッケージにすることでイノベーションの実現の道筋がつけられる
- 人間が抱える不自由は無数にあり、「どのような不自由が解消されたか？」をマイルストーンとして段階的に国民に実現を届けることが出来る
- 「バイオ戦略」「マテリアル戦略」「AI戦略」「安全・安心」など、日本の現在の戦略テーマから生まれる成果を活用した上で、さらにその先のイノベーションを目指すテーマである