

私の歩んだ道 —人工臓器学会と共に42年—

茨城大学学術研究院応用理工学野教育研究振興教授，名誉教授

増澤 徹

Toru MASUZAWA



1. はじめに

令和7年(2025年)3月に、私は茨城大学を65歳で定年退職しました。思い返せば、かれこれ40年以上にわたって研究者としての人生を歩んできたことになりましたが、まさか自分が諸先輩方に続いて本稿を書くとは、夢にも思っていないでした。私は天邪鬼かつlazyな性格であるため、綺羅星のごとく輝く諸先輩方と肩を並べられる者ではないのですが、折角の機会をいただいたので少々、お付き合いいただければ幸いです。

2. 研究者への助走期間

先に述べた性格から、高校時代は受験勉強が嫌でしかたなく、大学共通第1次学力試験が始まる前年の1978年に、東京電機大学工学部精密機械工学科に滑り込んだ次第です。当時、マイクロコンピュータの黎明期で、当該学科の研究室でマイクロコンピュータ(NEC PC-8001)を有している唯一の研究室が、後に東京大学に異動される土肥健純名誉教授の研究室でした。

土肥先生は今でこそコンピュータ外科の分野で有名な先生ですが、当時は東京大学医科学研究所で本学会初代会長の故稲生綱政教授と人工腎臓の研究をなされていました。土肥先生の東京大学工学部精密機械工学科医用精密工学講座(教授は故舟久保熙康先生)の助教授就任、異動とともに、1981年に私は同大学の舟久保・土肥研究室に外研生として研究に従事させていただくこととなりました。当時の舟久保・土肥研究室には研究員、助手として故米田隆志芝

浦工業大学副学長や磯村 恒神奈川工科大学特任教授が、同級生、先輩には佐久間一郎東京大学教授、花房昭彦芝浦工業大学名誉教授らがいらっしやり、恵まれた研究環境で体表面形状を立体計測する卒業研究「TV系モアレ縞計測に関する研究」を行わせていただきました。

その後、1982年に東京電機大学大学院システム工学専攻の福井康裕名誉教授の研究室に進み、修士課程では東京女子医科大学の河村剛史先生と心表面興奮伝播計測や植込型除細動装置に関する共同研究や、東京大学医科学研究所の杉本久之先生と常温臓器保存システムに関する共同研究に従事させていただきました。東京女子医科大学では、心臓移植、人工弁で有名な和田寿郎先生から「研究を頑張るように」と、ウイスキーをいただいたことを今でも覚えております。常温臓器保存システムは摘出した腎臓にpH、酸素分圧、二酸化炭素分圧等を調整した人工血液を灌流し、常温で保存しようとすることを目指したシステムです。本研究の一部を日本人工臓器学会大会に1984年に報告¹⁾させていただいたことが本学会とのお付き合いの始まりで、かれこれ42年となります。最近、本学会誌でも再び臓器保存の研究が特集²⁾されたのは望外の喜びであります。

博士課程時代には血管作動薬の持続投与による血圧制御機構の研究開発³⁾のために1985年から2年間、米国カリフォルニア大学サンディエゴ校(UCSD)麻酔科に留学させていただきました。帰国後、東京大学助手、東京電機大学研究員時代に、東北大学抗酸菌病研究所の鈴木磨郎名誉教授と共同研究した血圧昇圧制御について博士論文を書き、1990年に国立循環器病センター(当時の名称、以下、国循)人工臓器部室員として就職いたしました。梅津光生早稲田大学名誉教授が大学に戻られて、空いたポストに滑り込んだ形です。当時、東の東京大学&ゼオンポンプ、西の国循&東洋紡ポンプと、体外設置型拍動流補助人工心臓の研究

■ 著者連絡先

茨城大学学術研究院応用理工学野機械システム工学領域
(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)
E-mail. toru.masuzawa.5250@vc.ibaraki.ac.jp

開発の双璧の1つとして国循は有名でしたが、医用工学分野で博士号を持っている人材はまだまだ少なく、運良く雇っていただくことになりました。その時、一緒に国循の就職面接を受けて生体工学部に入られたのが岸田晶夫東京科学大学(旧東京医科歯科大学)教授です。

3. 国循時代

国循の人工臓器部には故高野久輝部長のもと、妙中義之室長(後の同部部長)、中谷武嗣室長(牧病院長)、巽 英介室員(後の同部部長)がいらっしゃいました。その後も西中知博先生(後の同部部長)、戸田宏一獨協医科大学教授、西村 隆愛媛大学教授、穴井博文大分大学教授、中村真人金沢工業大学教授、荒木賢二宮崎大学名誉教授、築谷朋典人工臓器研究室長など、とても優秀な方々と一緒に仕事をさせていただきました。博士論文の研究内容が血圧制御でしたので、人工臓器部では人工心臓の流量制御などの生体制御について研究を進めようと考え就職いたしました。国循黎明期にいらっしゃった高谷節雄先生(元東京医科歯科大学教授)、中村孝夫先生(元山形大学教授)、梅津光生先生ら、錚々たる工学系メンバーが異動された後で、人工臓器部に工学者は私一人、まさに「工一点」の状態です。デバイスも空気駆動型拍動流補助人工心臓しかありませんでした。

まず取り掛かったのが新しいデバイス：全置換型人工心臓(全人工心臓)の考案です。当時、拍動流ポンプが人工心臓の主流でしたので、体内植込み型の拍動流型全人工心臓を次の研究ターゲットに据えました。しかし拍動流型ポンプは自己心と同様のポンプ容積(またはstroke volume, SV)を必要とします。拍動数を上げてSVを下げる方法もありますが、人工弁開閉の機械的な動特性が高い拍動数についていけず、SVを下げることに限界があります。自己心が占めている胸腔内空間に左右心室用ポンプ2つとその駆動装置を収めるのは、アジア人の体格を考えると物理的に至難の技といえます。そこで考えたのが、電気油圧(electrohydraulic)方式の全人工心臓です。送油用ポンプで油圧を発生させ拍動流ポンプを駆動する方式で、送油用ポンプ(駆動装置)は胸腔外に設置することとしました。体内埋め込みに有利なカスケード(摩擦)ポンプを油圧発生源に、当時、妙中先生が開発していた空気駆動型植込み血液ポンプを駆動するシステムを考案し⁴⁾、通商産業省(現経済産業省)のプロジェクトにも採択され、研究を進めました。

そのプロジェクト会議では産業技術総合研究所の山根隆志先生、テルモ(株)の故野尻千里先生、バイラー医科大学の故能勢之彦教授とご一緒し、とても勉強になりました。国

循は電気油圧式全人工心臓、テルモ(株)は磁気浮上補助人工心臓：DuraHeart、バイラー医科大学はピボット式軸受を用いた定常流ポンプ：ジャイロポンプの開発を進めました。その時に能勢先生より、researchとdevelopment(研究と開発)の違いについて教えていただきました(後述)。

また、人工臓器学会では東京大学医用電子工学研究所の故渥美和彦名誉教授、藤正 巖名誉教授、井街 宏名誉教授、阿部裕輔日本医療科学大学教授、東北大学抗酸菌病研究所の故仁田新一名誉教授、山家智之教授、北海道大学の三田村好矩名誉教授、京都大学の赤松映明名誉教授らが活躍されており、学会での熱い討論はとても刺激になりました。当時、東京大学、東北大学は基礎研究寄りの観点から、国循は開発寄りの観点から人工心臓研究開発を追求しており、しばしば意見の衝突がありましたが、それを良しとして自由闊達な議論の場を提供していただいた本学会の諸先輩方の懐の深さに今更ながら感銘を受けております。

4. 茨城大学時代

国循に8年間、研究員、室長として奉職した後、前述の通産省プロジェクトの委員の一人の磁気浮上技術の専門家、茨城大学の岡田養二教授に呼ばれ、1998年に茨城大学工学部機械工学科に助教授として赴任いたしました。そこで研究室を立ち上げ、機械工学科の学生諸君と一緒に研究を進めることとなりました。異動にあたって特に気をつけたことは、機械工学科の学生にとって魅力的な研究テーマを創出することです。工学系の学生にも訴求力がある研究テーマとして、私は「人工心臓に応用可能な磁気浮上技術の創造」に焦点を当てました。まず、磁気軸受(機械式軸受に代わり磁気力で回転軸を支持する機構で磁気浮上基礎技術の1つ)の高性能化を図るために、永久磁石と電磁石を組み合わせたハイブリッド型磁気軸受の研究開発に注力しました。ハイブリッド型磁気軸受は、磁気支持力を高めるため、バイアス磁束を永久磁石で発生させ、それに電磁石の磁束を重ねる磁気軸受ですが、永久磁石は電磁石の磁束から見ると抵抗になるため、性能向上のためには磁束の三次元的な取り回しが必要な課題となります。合わせてモータに磁気軸受機構を組み込んだ磁気浮上モータ：セルフベアリングモータに関しても磁気浮上モータのサイズを小さくする上で有効なため研究を行いました。

茨城大学異動後、10年間は遠心ポンプ、斜流ポンプ、軸流ポンプなどの血液ポンプを想定したいろいろな磁気浮上メカニズムの考案を主として研究を進めました。米人工臓器学会(ASAIO)や国際ロータリー血液ポンプ学会(ISRBP(現国際機械式循環補助学会(ISMCS))に出張した際に、日

中は世界の人工心臓研究に刺激を受け、夜中には時差ボケで眠れないためホテルのベッド上でいろいろと考えを巡らせ、多くの特許アイデアを得ました。例えば、2008年にヒューストンで開催されたInternational Society for Rotary Blood Pump (ISRBP) で、現在日本医療研究開発機構 (AMED) プロジェクトとして開発を進めている小児用補助人工心臓のダブルステータメカニズムのセルフベアリングモータ構造を考えました⁵⁾。帰国後、当時卒論生であった長 真啓君 (現茨城大学准教授) の卒論テーマを小児用補助人工心臓に変更し、卒論、修士論文、博士論文のテーマとして研究を続けてもらいました。研究室では磁気浮上人工心臓のほか、培養細胞へ振幅ナノメートルオーダーの振動を与える細胞刺激システムや、低エネルギー付加による生体組織融着技術⁶⁾など、人工心臓以外の共同研究を岸田現東京科学大学教授と行いました。

2002年頃に、オーストラリアのQueensland University of Technologyの大学院生であるDaniel Timms君 (現BiVACOR Inc. CTO) が研究室の見学にきました。彼は人工心臓の研究を博士論文として行いたいとの希望でしたが、残念ながら当時の彼の研究室には人工心臓を開発するだけのリソースがありませんでした。そこで彼の博士論文のテーマとして、循環系シミュレータを提案したのが彼との付き合いの始まりです。その後、彼や共同開発者であるNicholas Greatrex氏を茨城大学に招聘し、共同研究を行い、磁気浮上技術を供与して全置換型磁気浮上人工心臓BiVACOR⁷⁾の開発に力を貸しました。BiVACORの臨床試験が2024年7月から米国で開始されたことは、大学教員および研究者として無上の喜びです。

一方、今までの研究を通じて、日本での人工心臓開発の障壁、特に小児用補助人工心臓など経済的合理性の欠如による実用化の困難性について、大きな疑問を抱えるようになりました。そこで、2023年3月に日本人工臓器学会の人工心臓研究者有志にお声がけを行い、松宮護郎千葉大学教授、小野 稔東京大学教授、岸田先生に理事、監事をお願いして、特定非営利活動法人 (NPO) オーファンデバイス研究開発⁸⁾を設立しました。資本主義の経済原理から考えると、技術的に可能であっても市場が小さい小児用補助人工心臓は実用化 (製品化) がなされず、貴重な命がみすみす見過ごされているのが現状です。一方、戦争では1発数億円のミサイルが飛び交い、F-35戦闘機などは1機約100億円の価格です。人工心臓は数十億円あれば実用化できるので、殺人兵器には何兆円ものお金がかけられる現状はおかしくないでしょうか？本NPO社員を核に2024年の春に、AMED「医療機器等における先進的研究開発・開発体制強

靱化事業 (基盤技術開発プロジェクト)」に「ALL JAPANで挑む革新的植込型小児用補助人工心臓の開発」プロジェクトとして申請、採択されました。

本プロジェクトは1億円/年、3年間のプロジェクトです。2024年秋に始動しましたが2025年の9月にstage gateが設けられており、2025年後半以降 (1.5年間) の継続について審査されます。実用化が難しいため国のプロジェクトに応募したのですが、実用化計画がstage gateの重要な評価項目であると言われて四苦八苦している状況で、未来は明るいとはいえませんが、止まっても物事は進展しませんので、できる限りのことを試みるつもりです。

5. 日本人工臓器学会

本学会では、2009年より理事、監事、副理事長として、16年間役員を務めさせていただきました。その中で2009年より国際委員会委員長を拝命し、アジアの人工臓器研究を促進するため、富永隆治第12代理事長、松田兼一第13代理事長、妙中義之第14代理事長、許 俊鋭第9代理事長など錚々たる先生方のご指導のもと、2013年にThe Asia-Pacific Society for Artificial Organs (APS AO) を立ち上げさせていただきました。2013年の第51回日本人工臓器学会学会大会 (横浜、大会長：小野 稔東京大学教授) で設立キックオフ会議を開き、2014年第52回学会大会 (札幌、大会長：米川元樹札幌北榆病院長) で第1回フォーラム、2015年韓国、2016年中国、2017年インド、2018年台湾、2019年日本・大阪 [国際人工臓器学会学術大会 (IFAO)] と併設、2021年千葉、2022年愛媛、2023年マレーシア、2024年オーストラリアとアジア・太平洋諸国で研究会を開いております。現在、松宮第16代理事長にAPS AO理事長もお願いしております。新型コロナウイルス感染症 (COVID19) 以後、東南アジア諸国連合 (ASEAN) 地域での人工臓器研究の促進および国際協力はその重要性を増しており、学会会員の方々のより一層のご協力をお願いする次第です。

一方、2022年には将来計画・学会活性化委員会委員長として松宮先生のご指導のもと、人工臓器イノベーション委員会と共同で、日本学術会議に「未来の学術振興構想 (2023年版) No.27 (グランドビジョン⑤) 健康寿命延伸・QOL向上のためのICT人工臓器研究開発の進展」を提出しました。本学術振興構想は、日本の今後30年の研究ビジョンを各学会に募り集約したものです。日本人工臓器学会では、次世代人工臓器機能として、抗感染性・生体親和性、小型化・高性能化、低エネルギー駆動およびエネルギー伝送・生成システム、自律制御・常時情報交換 (ICT化) の研究推進を図り、疾患重症化やフレイルの予防機能を加え、健康寿命

延伸とQOL向上を図ることを提案しています。紙面の都合上、詳細は文献のURL⁹⁾をご参照ください。

6. 研究と開発

大学院時代から数えますと、42年間にわたり工学者として医用工学、人工臓器の分野で研究活動を続けてまいりましたが、未だに難しいと思うのは「研究と開発」の線引きです。辞書を調べますと、「研究：物事を詳しく調べたり、深く考えたりして、事実や真理などを明らかにすること」「開発：新しい技術や製品を実用化すること」とあり、「研究」と「開発」は同義語ではないことが明らかですが、境界領域の応用研究は往々にして「研究」＝「開発」と捉えられる場合があります。例えば、「〇〇が実用化されないのは研究者の怠慢だ」と言われたことが何度あります。しかし、工学研究では現象の機序や新しい仕組みを考え、その有効性を検証にする、いわゆる feasibility study までは「研究」で、その先の実用化は「開発」になり、そこは企業の開発技術者の出番になります。しかし、人工心臓などの市場の小さな医療機器は経済的合理性に乏しく、組織の持続的存続のために利潤確保が第一の企業には手を出しにくいものです。そのために実用化が進まないというのが正直なところでしょう。

1992年に人工臓器に寄稿した論説「医と工：人工臓器開発に望まれる連携」¹⁰⁾の中でも「“工”は開発技術者および工学系研究者に大別され、開発技術者は企業が担っている」「デバイスを開発することも工学的研究になると思っているふしがある」等のことを、若輩の身で書かせていただいておりますが、今でもその状況は変わっていません。医療機器の実用化には研究者と開発者の連携が必須なのですが、経済的合理性の観点からその連携は難しいのです。多くの先達をご指摘の通り、これが研究から開発、実用化の間にある「魔の川」「死の谷」の一因でもあります。国の助成を見ても、医療機器分野では「即モノになる、実用化できる、稼げる研究」という開発助成が主であり、市場の小さな医療機器は最初から助成対象となり得ません。税金を使う以上、ベネフィットは最大にしたいという理由も分かるのですが、有用な医療機器に対しては、フィランソロピーの観点から国や社会の補助で実用化ができるような仕組みを作ることでもあるのではないのでしょうか？

7. 最後に

私は大学教員、研究者として、学生の教育のためにも「論文になる研究」に軸足を置き、真摯に取り組んでくれた優秀かつ真面目な学生諸君のおかげで、今まで研究を続けてこられました。退職後は論文を書かなくてもよい立場になりましたので、前述のAMEDプロジェクトで私個人は開発に軸足を移し、実用化に向けて尽力したいと考えております。

最後に、本稿ではお世話になった全ての方々のお名前を挙げるのは叶いませんでしたが、今まで長年にわたり、日本人工臓器学会でご指導、ご鞭撻いただいた多くの方々にこの場をお借りして感謝の気持ちをお伝えしたいと存じます。なお、今後も日本人工臓器学会には何かとお世話になると思います。天邪鬼な老齡工学者を何卒よろしくお願い申し上げます。

本稿中で言及した先生方の所属等は現在のものを使用した。

本稿の著者に規定されたCOIはない。

文 献

- 1) 福井康裕, 増澤 徹, 斉藤 剛, 他: 腎臓常温保存箱の開発. 人工臓器 **13**: 820-3, 1984
- 2) 特集 臓器保存技術の現状と今後の展開. 人工臓器 **53**, 203-29, 2024
- 3) 増澤 徹, 福井康裕: 生体を対象とした制御システム—降圧剤による血圧の最適制御—. 精密工学会誌 **55**, 406-11, 1989
- 4) Masuzawa T, Taenaka Y, Kinoshita M, et al: A motor integrated regenerative pump as the actuator of an electrohydraulic totally implantable artificial heart. ASAIO J **38**: M232-6, 1992
- 5) 特許第5590520号, アキシシャル型磁気浮上モータおよびアキシシャル型磁気浮上モータを備えたアキシシャル型磁気浮上遠心ポンプ
- 6) Aodai T, Masuzawa T, Ozeki K, et al: Effect of metal surface characteristics on the adhesion performance of the integrated low-level energies method of adhesion. J Artif Organs **15**: 386-94, 2012
- 7) Greatrex NA, Timms DL, Kurita N, et al: Axial magnetic bearing development for the BiVACOR rotary BiVAD/TAH. IEEE Trans Biomed Eng **57**: 714-21, 2010
- 8) (NPO) オーファンデバイス研究開発: <https://odrd.sakura.ne.jp/odrd/> Accessed 5 May 2025
- 9) 日本学術会議: 「未来の学術振興構想(2023年版)」No.27 (グランドビジョン⑤) 健康寿命延伸・QOL向上のためのICT人工臓器研究開発の進展. <https://www.sci.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-25-t353-3-27.pdf> Accessed 5 May 2025
- 10) 増澤 徹, 高野久輝: 医と工: 人工臓器開発に望まれる連携. 人工臓器 **21**: 7-10, 1992