

ワークロイド産業の発展に向けた業界団体・企業の取り組み
— 「ワークロイド・ユーザーズ協会」と「テムザック（tmsuk）社」の事例 —
The Effort of an Industrial Association and a Company for the Development of the
Workroid Industry: A Case Study of “Workroid Users Association” and “tmsuk”

岸本 千佳司 (KISHIMOTO Chikashi)
公益財団法人アジア成長研究所 (AGI) 准教授

Working Paper Series Vol. 2022-06

2022年3月

このWorking Paperの内容は著者によるものであり、必ずしも当研究所の見解を反映したものではない。なお、一部といえども無断で再録されてはならない。引用する場合は、著者名・発行年・題目および発行元名を明示しなければならない。

公益財団法人アジア成長研究所

ワークロイド産業の発展に向けた業界団体・企業の取り組み —「ワークロイド・ユーザーズ協会」と「テムザック (tmsuk) 社」の事例—

The Effort of an Industrial Association and a Company for the Development of the
Workroid Industry: A Case Study of “Workroid Users Association” and “tmsuk”

岸本 千佳司 (KISHIMOTO Chikashi)
公益財団法人アジア成長研究所 (AGI) 准教授
E-mail : kishimoto@agi.or.jp

要旨

本研究では、少子高齢化と人手不足への対応として、様々な現場で人に代わって仕事をするロボット（ワークロイドと呼ばれる）の産業としての発展に向けた取り組みを検討する。具体的には、ワークロイド業界団体（の原型）として2021年4月に設立された「一般社団法人ワークロイド・ユーザーズ協会（Workroid Users Association : WUA）」（WUAは主にロボットのユーザー企業・団体および研究者によって構成される）、およびワークロイド企業の実験者であり中小企業でありながら多種多様なワークロイドの開発・製造実績のある「テムザック (tmsuk) 社」の事例を取り上げる。これを通して、ワークロイドのユーザー企業や研究者が考案する同産業の発展に向けた方策、およびロボットメーカー側の経営戦略について詳しく検討する。分析の結果、WUAの掲げるワークロイドの開発思想・開発方式の幾つかの項目は短期的には実効性に疑問があること、そしてワークロイドメーカー自身が、単純にロボット単体を売りさばくようなやり方を超えた有効なビジネスモデルを構築することが業界の本格的な立ち上げにとって不可欠であることが指摘される。

キーワード: ワークロイド (Workroid), ワークロイド・ユーザーズ協会, テムザック (tmsuk), ビジネスモデル

JEL 分類 : M19

目次

1. はじめに	1
2. ワークロイドについて.....	1
2.1 ワークロイドの定義と種類.....	2
2.2 ワークロイド産業振興の意義.....	4
2.3 ワークロイドの製品開発のあり方.....	6
2.4 ワークロイドの社会実装に向けた取り組み.....	8
3. テムザック（tmsuk）社の事例研究.....	9
3.1 テムザックの会社概要と発展の軌跡.....	9
3.2 テムザックの製品開発力の秘密.....	11
3.3 テムザックの新展開：ビジネスモデル構築に向けて.....	15
3.4 ワークロイドの製品開発とビジネスモデルの構築に必要な人材.....	25
4. テムザック社の事例を踏まえたワークロイドの開発思想・開発方式 についての検討.....	26
5. まとめとディスカッション.....	28
参考文献.....	30

ワークロイド産業の発展に向けた業界団体・企業の取り組み

－「ワークロイド・ユーザーズ協会」と「テムザック（tmsuk）社」の事例－

アジア成長研究所 岸本 千佳司

1. はじめに

本研究は、少子高齢化と人手不足への対応として、様々な現場で人に代わって仕事をするロボット（ワークロイドと呼ばれる）の産業としての発展に向けた取り組みを検討するものである。ロボットは工場の生産ラインに据え付けて使用される産業用ロボットとそれ以外の様々な場面で人に代わってサービスを提供するサービスロボットに大別されるが、ワークロイドは基本的には後者に属する。ロボット導入のメリットとして、人手不足の解消の他、作業者の苦渋の軽減、安全性の向上、作業の正確性・安定性の確保等があげられる。今後、ワークロイドの活用は、家事、ホテル・飲食店、物流・倉庫、医療・介護施設、災害救助、建設、警備、農業等の様々な現場・業務で進むものと予想される。このようにワークロイド産業には多種多様なセグメントがあり、その大半は、技術と市場の両面で未成熟である。ワークロイド産業を効果的に立ち上げ、競争力を持つ企業と将来性のあるビジネスモデルを構築することは、一国の発展にとっても戦略的に重要な事である。

本研究では、我が国で実質的にワークロイド業界団体（の原型）として2021年4月に設立された「一般社団法人ワークロイド・ユーザーズ協会（Workroid Users Association）」（以下、WUAと略記する）（WUAは主にロボットのユーザー企業・団体および研究者によって構成される）、およびワークロイド企業の先駆者であり中小企業でありながら多種多様なワークロイドの開発・製造実績のある「テムザック（tmsuk）社」の事例を取り上げる。これを通して、ワークロイドのユーザー企業や研究者が考案する同産業の発展に向けた方策、およびワークロイドメーカー側の経営戦略について詳しく検討する。以下、第2節でワークロイドの定義や産業振興に向けたWUAの取り組みについて述べ、第3節ではテムザック社の事例研究を扱い、第4節ではテムザック社の事例を踏まえWUAが提唱するワークロイドの開発思想・開発方式の実効性について検討を行い、第5節はまとめとディスカッションを提示する。

2. ワークロイドについて

本節では、ワークロイドの定義と種類、ワークロイド産業振興の意義、ワークロイドの製品開発のあり方、およびワークロイドの社会実装に向けた取り組みについて、主にWUAの

ウェブサイト (<https://workroid.com/>) の記事や関連資料を参考にしながら説明する。

2.1 ワークロイドの定義と種類

WUA の資料によれば (WUA, 2020 ; <https://workroid.com/mission/robot.html> 2022 年 2 月 20 日閲覧), 「ワークロイド (Workroid)」は, 「働くアンドロイド (Work Android)」から来た言葉で, 「空間を自律的又は遠隔操作で移動して, 労働の代替を行うロボット」と定義される。ロボットは, 産業用ロボットとサービスロボットに大別される。産業用ロボットは, ファクトリー・オートメーションの流れから開発されたもので, 工場の製造ラインで, 多くは固定され柵等で人間から隔離された形で作業を行う。他方, サービスロボットは, センサーで人や物を感知して自動的に衝突を防止しながら (あるいは人と近接する形で) 様々な場所で人が提供するサービスを代替する。サービスロボットには大別して, 家庭やオフィス等の閉鎖的空間で会話・癒し・情報の提供を行うコミュニケーションロボット, および様々なフィールド (閉鎖的・開放的空間) で自律的または遠隔操作で移動しつつ人間の労働を代替するワークロイドがある (両者の機能は一部重複することもある)。

ワークロイドの活動領域は, 陸上, 海上, 空中, 宇宙空間, 水中などあらゆる場所が想定され, 自然災害現場などでの危険作業の実行も期待される。ワークロイドの外形は必ずしも人型ではなく, 様々な形態があり得る。そして, ワークロイドは, 1 台で各種作業をこなすハイスペックなロボットではなく, ミッション毎に複数の単機能ロボットが編隊を組み, 互いに通信で連携し合って 1 つのまとまった作業をこなす複合型ロボット (群型ロボット) が想定される (<https://workroid.com/mission/activities.html> 2022 年 2 月 20 日閲覧)。

ロボット産業の調査研究, ロボット普及, 政策的支援を行う国際的団体「国際ロボット連盟 (The International Federation of Robotics : IFR)」(<https://ifr.org/>) の資料によれば, サービスロボットは「2 つ以上の軸 (可動部分—引用者注) を持ちプログラム制御で作動するメカニズムで, その作業環境内で移動し, 人間もしくは設備のために有用な仕事を遂行するもので, 工業オートメーション用を除くもの」と定義されている (IFR, 2021, p. 14)。そして, IFR は, 表 1 のように「Consumer robots」(一般ユーザー向け) と「Professional service robots」(訓練されたプロの操作者向け) に分けて細分類を提示している。

上述のように WUA はサービスロボットをコミュニケーションロボットとワークロイドに大別しているが, 表 1 では, コミュニケーションロボットに該当するのは, Consumer robots の「Social interaction, education」と「Care at home」の「Other care robots」の一部, および Professional service robots の「Hospitality」の「Mobile guidance, information, telepresence」くらいで, 他はほとんどワークロイドに該当すると思われる。一般消費者が日常的に目にする範囲ではコミュニケーションロボットが多いように思えるが, 細分類上では, ワークロイドはサービスロボットの大半をカバーしているのである。

表 1 IFR によるサービスロボットの細分類

❖ Consumer robots (コンシューマー向けロボット)
Robots for domestic tasks (家事用ロボット)
Domestic floor cleaning (indoor) (屋内床清掃)
Domestic window cleaning (窓清掃)
Gardening (ガーデニング)
Domestic cleaning (outdoor) (屋外清掃)
Other domestic tasks (その他の家事)
Social interaction, education (社会交流, 教育)
Social interaction, companions (社会交流, コンパニオン)
Education (教育)
Care at home (家庭でのケア)
Mobility assistants (移動介助)
Manipulation aids (操作支援)
Other care robots (その他のケア・ロボット)
Other consumer robots (その他のコンシューマー・ロボット)
Other consumer robots (その他のコンシューマー・ロボット)
❖ Professional service robots (プロフェッショナル・サービス・ロボット)
Agriculture (農業)
Cultivation (耕作)
Milking (搾乳)
Other livestock farming (その他の畜産農業)
Other agriculture (その他の農業)
Professional cleaning (プロフェッショナル・クリーニング)
Floor cleaning (床清掃)
Window and wall cleaning (窓・壁清掃)
Tank, tube and pipe cleaning (タンク, チューブ, パイプ清掃)
Hull cleaning (船体清掃)
Disinfection (消毒)
Other professional cleaning (その他のプロフェッショナル・クリーニング)
Inspection and maintenance (検査とメンテナンス)
Buildings and other construction (ビル, その他の建造物)
Tank, tubes, pipes, sewers (タンク, チューブ, パイプ, 下水道)
Other inspection and maintenance (その他の検査とメンテナンス)
Construction and demolition (建設と解体)
Construction (建設)
Demolition (解体)
Transportation and logistics (輸送とロジスティクス)
Indoor environments without public traffic (公共施設以外での屋内輸送)
Indoor environments with public traffic (公共施設での屋内輸送)
Outdoor environments without public traffic (公共施設以外での屋外輸送)
Outdoor environments with public traffic (公共施設での屋外輸送)
Inventory (在庫管理)
Other transportation and logistics (その他の輸送とロジスティクス)
Medical robotics (医療用ロボット)
Diagnostics (診断)
Surgery (手術)
Rehabilitation and non-invasive therapy (リハビリと非侵襲的治療)
Medical laboratory analysis (医療研究所での分析)
Other medical robots (その他の医療用ロボット)
Search and rescue, security (捜索救難, 警備)
Firefighting (消防)
Disaster relief (災害救助)
Security services (警備)
Hospitality (おもてなし)
Food and drink preparation (食事と飲料の準備)
Mobile guidance, information, telepresence (モバイル・ガイダンス, インフォメーション, テレプレゼンス)
Other professional service robots (その他のプロフェッショナル・サービス・ロボット)
Other professional service robots (その他のプロフェッショナル・サービス・ロボット)

(出所) IFR (2021, p. 18, p. 20) の Table 1.2 および Table 1.3 を引用 (筆者が翻訳・加工した)。

もう 1 つ別のサービスロボットの細分類を紹介する。産業タイムズ社は国内外のロボット企業を多数取材・紹介した資料を 2016 年以降毎年発行しているが、ここではその 2021-2022 年版（産業タイムズ社，2021）に基づき整理する。これによると、サービスロボットの細分類は表 2 の様になる（複数の細分類に重複してカウントされている企業もあるので、表中の「総計」は実際の企業数より多くなっている）。大まかに言えば、同表の「教育用」ロボットを除く大半のものはワークロイドに該当する（ただし、正確には製品ごとに個別に判断する必要がある）。

表 2 産業タイムズ社によるサービスロボットの細分類と企業数（単位：社）

細分類	日本企業	外国企業	合計
物流施設・倉庫向け	26	32	58
外食・飲食店舗向け	9	11	20
警備・点検用	4	6	10
農業用	8	13	21
教育用	5	7	12
病院・高齢者福祉施設用	16	17	33
配達・配送用	8	27	35
小売・商業店舗向け	13	5	18
建設・検査用	13	6	19
装着・外骨格型	7	7	14
遠隔操作型	17	7	24
医療・バイオ関連	7	14	21
総計	133	152	285

（注）本表は、厳密には、産業タイムズ社（2021，pp. 8-9）の「注目業種別の企業名索引」に基づいている。複数の業種に重複してカウントされている企業もある。なお、元資料では、医療・バイオ関連ロボット企業はサービスロボット関連企業とは別枠で掲載されているが、ここではサービスロボットの 1 分野とみなして本表に組み入れている。

（出所）産業タイムズ社（2021）に基づき筆者作成。

2.2 ワークロイド産業振興の意義

ここでワークロイド産業を振興することが日本にとって何故重要課題なのか、とりわけその経済的必要性について検討する。WUA の「設立趣意書」からは次の 2 点が読み取られる（<https://workroid.com/mission.html> 2022 年 2 月 11 日閲覧）。

第 1 に、少子高齢化と人手不足を背景に、人による労働（特に、単純作業、重労働、危険作業など）を代替するロボットの必要性が高まっている。

第 2 に、日本には自動車産業の裾野産業を支える技術力を持つ中堅・中小企業が多数あり、これらの企業はワークロイド製造に必要なアクチュエータ（筋肉に相当、モーターや油圧など）および機械メカニズム（アーム等の作業機構、車輪・脚等の移動機構）等を開発・製造する潜在的能力を有している。他方で、自動車産業では EV 化のトレンドに伴い裾野産

業を担ってきた中堅・中小企業の経営転換が不可欠であり、これら企業の中からワークロイド開発・製造に参加できるものを誘導・育成することが、こうした経営転換に1つの活路を与えると期待される。

これを踏まえ、WUAは「本会の役割」の一部として次の2点に言及している(<https://workroid.com/mission/mission.html> 2022年2月20日閲覧)。

- ・ ワークロイドの社会実装のための提言・呼びかけ：ロボット・フレンドリーな環境や各種規制、法律の調整に向けた提言を行い、省庁・自治体、ロボット開発関係者、各種専門家、ロボット・ベンダー、研究機関など幅広い人々に協力を呼びかけて行く。
- ・ ロボット・システムインテグレータの育成および裾野産業の開発：ワークロイドの活用に関して提案・支援をするロボット・システムインテグレータの育成を行う。同時に、ワークロイドの開発を促進し、部品・素材の裾野産業の広がり形成して行く。

2点目に関して敷衍すると、ワークロイド産業振興のためには、ロボットシステムの導入・提案・設計・構築等を行うロボット・システムインテグレータの存在が重要である。一般的な(産業用ロボットの)ロボット・システムインテグレータの役割としては次のことがあげられる。①潜在的ニーズの発掘や課題の明確化、②プロジェクト・マネジメント(ロボット導入の計画段階から運用開始までの取りまとめ)、③業務別ロボット・コンサルテーション(異なるニーズに合ったロボットの選定を支援)、④ロボット設計(ロボット本体の選定やアームの動作、生産ラインの構築などの設計)、⑤安全設計(柵や安全機器を選定するなどの安全規格対策)、⑥周辺設計(ロボットが作業しやすい周辺環境を設計)、⑦制御・センシング設計(制御プログラムやセンサーの追加設計)(<https://workroid.com/portfolio/column01/> 2022年2月20日閲覧)。

ワークロイドは、特定機能を持つ複数のロボットを現場の様々なニーズに適合するよう組み合わせるユニット(群型ロボット)として使っていくという開発思想であり、その観点からもロボット・システムインテグレータの役割は重要である。さらに言えば、こうした能力を持つ業者の一部が、ワークロイドの開発・製造自体に進む可能性もある。多種多様なワークロイドの開発・製造を行っている「テムザック(tmsuk)社」への面談調査によれば、同社はトロール船のコンベアラインシステムおよび冷凍食品(焼きおにぎり、うどん等)の製造ラインを開発・製造するメーカーが前身で、ある意味システムインテグレータのようなものであったという。ただし同社は、単に他社から調達した部品やコンポーネントを並べて組み合わせるだけでなく、コンベアラインの機構や部品の設計・製造をも一定程度自前で行っており、一般的なシステムインテグレータとは異なっていた(tmsuk-2021)。ワークロイド企業には、使用現場の環境とユーザーのニーズを的確に汲み取る能力に加え自前のものづくりの能力(研究開発力を含む)が必要なのである。これについては、後にテムザック社の事例分析を通して詳しく検討する。

2.3 ワークロイドの製品開発のあり方

ワークロイドが使用されるシーンは多種多様で、それぞれに対応した仕様のロボットが必要である。したがって、こうしたロボットの市場は、個別的に見れば小規模なものになることが予想される。このため、WUAのウェブサイトによれば(<https://workroid.com/mission/wr-concept.html> 2022年2月11日閲覧)、「ロング・テール市場」を念頭に置いた開発が必要となるという。ロング・テール市場とは、縦軸を商品の販売数量、横軸に販売数量の多い順に商品を並べてグラフを作ると、多様な商品が少しずつ売れる市場では売上分布が長い尾のようになるのでそう呼ばれる。

同ウェブサイトによれば、ロング・テール市場としてのワークロイド市場に対応するには、次のような開発思想が有効であるという。①ロボットの単機能化：1台のハイスペックなロボットで全ての作業をこなすのではなく、単機能のロボット複数台を組み合わせ互いに通信し合いながら協調して作業をする。②コンポーネントの共通化・共有化：ロボットの部品を共通化し、再利用可能にする。ロボットが作業する上で必要な情報や作業後の学習効果もクラウド上に配置して共有する。③オープン・ソースの有効活用：オープン・ソースのソフトウェアを活用することで開発環境を共通化・効率化して開発費用を抑える。以上を通して、ロボットの開発費用の軽減と開発効率の向上を実現する。

ただし、このような開発思想には、幾つかの疑問が出てくる。まず、「①ロボットの単機能化」に関して、上述のようなサービスロボットの細分類の何れか1つに特化した用途のロボットであったとしても、その用途の中でさらに作業工程を細分化し、その其々に特化した機能を持つロボットを開発するのか、それとも1台である程度の範囲の作業をカバーできるものの方が良いのか。これは状況によって、またメーカーの戦略によって変わることはないか。

次に「②コンポーネントの共通化・共有化」に関して、これが企業の壁を越えた（もしくは、業界内で一般的に通用する）共通化・共有化を意味するならば、ある用途向けロボットについて、「ドミナントデザイン」（市場において支配的となった製品の仕様）が確立した後でなければ事実上無理ではないかと思われる。つまり、ある製品が市場に投入されたばかりの時期では、各企業が様々な仕様を考案し差別化を行い激しい競争を繰り広げる（プロダクト・イノベーションの段階）。やがて製品の仕様を突き詰めていくと、どの企業が開発したとしても概ね同様の外観・内部構造・機能に落ち着き、それがドミナントデザインとなる。それ以降は製品が成熟化し、プロセス・イノベーションが主体の段階となる（Utterback, 1994）。コンポーネントの共通化・共有化は、こうしたある程度成熟した段階でこそ可能かつ有意義となることはないか。

さらに「③オープン・ソースの有効活用」についても、オープン・ソースのソフトウェアが完成度が高く使い勝手が良ければ、それを活用するのは当然である。しかし、そうでない場合、あるいは、企業の戦略としてそこで差別化するような場合は独自の開発が必要となる

のではないか。

ワークロイド産業は依然未成熟な段階で、これらの疑問に対する答えは、ワークロイド開発・製造の具体的な事例研究を通して探求するしかない。一旦これらの疑問は置くとして、WUA は、「本会の役割」の一部として、ロング・テール市場に対応した開発方式の提案を行っている（筆者が整理し直し、一部言い方を変更している）。¹ ①共同発注による開発費用負担の低減：ワークロイドを必要とするロボット・ユーザーから共通ニーズを掘り起こし、共同発注を行うことで 1 社当たりの開発費用の負担を軽減する。②開発環境の統一による開発効率の向上：ロボットメーカーごとに異なる開発の用語・規格・仕様・安全認証基準等の開発環境を統一し、開発効率を向上させる。③アカデミアの開発技術の活用：大学・研究機関で開発された最新技術の活用により開発期間を短縮すると同時に、これらの知的財産の有効活用を図る。

WUA の資料に基づき、こうした提案が出てきた背景について解説しよう。先ず「①共同発注による開発費用負担の低減」と「②開発環境の統一による開発効率の向上」が提唱される背景として、従来のロボット開発のやり方に付随する次のような問題点がある。あるロボットメーカーが複数の顧客からロボット開発を受注する際、顧客ごとに個別に秘密保持契約（non-disclosure agreement：NDA）を結び、特許の取得も行う。こうして開発された技術は発注先に縛られ自由に活用もできず、そもそも類似のニーズに一々個別的に応えるという無駄がある。その結果、開発費用も高額となり、一部の大企業しか手が届かないものとなる。加えて、顧客ごとに用語、規格、仕様、部材が異なり、開発が非効率となる。こうした問題に対処し、幅広くワークロイドを普及させるために、ロボット・ユーザーのニーズを吸い上げ、共通ニーズにまとめ、共同発注を行う仕組みが必要なのである（WUA, 2020）。

次に「③アカデミアの開発技術の活用」について敷衍する。複雑なロボットの開発には多種多様な技術のインテグレーションが必要であり、単独の企業や大学の研究室ではすべてをカバーすることは通常できない。例えば、早稲田大学・高西淳夫教授の研究室が WAREC（様々に変形しつつ極限環境下で作業する災害対応ロボット）を開発した際にも、高西研究室を中心とし、多数の他大学の研究者、民間企業および産業技術総合研究所（National Institute of Advanced Industrial Science and Technology：AIST）がコンソーシアムを形成してプロジェクトを実施している（<https://workroid.com/mission/mission.html> 2022 年 2 月 20 日閲覧）。

テムザック社の創設者・高本陽一氏によれば、自動車のような成熟した産業では大学よりも大企業のほうが研究開発においても優れていることが多いが、サービスロボットは未だ産業として未成熟である。この様な発展段階においては、個別技術の研究では大企業よりも大学・研究機関の方が進んでいる。しかも、これらの技術は多数の大学研究室などに分散し

¹ 以下の開発方式に関する説明は、基本的に WUA の現ウェブサイトに基づくが（<https://workroid.com/mission/mission.html> 2022 年 2 月 11 日閲覧）、その初期バージョンの『働くロボット（ワークロイド）普及をユーザーから考える会』へのお誘い（WUA, 2020）も参照し、上述の開発思想と重複する部分を整理し、一部表現を変えている。

て保有されている。そのためロボット企業の実力は、大学研究者とどれだけネットワークを有しているかで決まる部分が多いのだという（tmsuk-2016）。「アカデミアの開発技術の活用」が重要・不可欠なのは、このような事情にもよる。

以上、WUAによるロング・テール市場に対応した開発方式の提案の背景を説明した。上述したようにWUAの掲げる開発思想には幾つかの疑問が提示された。また、共同発注・共同利用、開発環境の統一、および大学との連携が現実的に可能であるのか、どのような条件下で実現できるのかについても自明のことではない。これらは、ワークロイド開発・製品化の具体的事例の研究を通して検討すべき課題である。

2.4 ワークロイドの社会実装に向けた取り組み

WUAは「本会の目的」として、「ワークロイドを社会実装するために必要な課題を、ロボット・ユーザー主体の目線で考え、それを解決することを目的とする。」と述べている（<https://workroid.com/purpose.html> 2022年2月21日閲覧）。この場合の「ユーザー」とは、一般消費者ではなく、建設会社や医療・介護施設など主にワークロイドを使用する企業・団体である。この他、WUAの会員には、大学・研究機関の研究者、地方自治体・外郭団体も含まれている（<https://workroid.com/membership.html> 2022年2月21日閲覧）。

「ユーザー主体」を強調している背景として、これまで業界団体の多くはメーカー主体で設立されており、ユーザーのニーズをあまり反映していなかったことがある。ユーザーの会が様々な提案をし、ユーザーとして使い易いルール作りをし（メーカー主体だと、安全性などでかえって厳格過ぎる基準を設け、やり難くすることもある）、ユーザーが連合して共同発注するといったことで、ワークロイドが普及することが期待されるのである（現時点では共同発注の具体例は未だない）（tmsuk-2021）。

そしてワークロイドの社会実装を進めるために、WUAは「活動内容」として次のようなことをあげている（<https://workroid.com/activities.html> 2022年2月22日閲覧）。

- ① ワークロイドを共同開発、共同利用を可能とする枠組の構築
- ② ワークロイドの効率的な開発に基づく幅広いユーザーへの提供
- ③ 用語・規格・安全認証基準等の統一化、ワークロイド仕様プラットフォームの構築
- ④ ワークロイドの相談窓口、ワークロイド関連技術の教育・啓蒙
- ⑤ ロボット・フレンドリーな環境整備、法律・制度に関する政府・自治体との意見交換
- ⑥ ワークロイド全般に対する支援制度拡充の促進
- ⑦ ワークロイドの開発を促進するインテグレータの育成及び裾野産業の開発
- ⑧ その他ワークロイドの普及に関する活動

このうち①～③は、2.3節で説明したような製品開発のあり方を通して、ロボットの開発費用の軽減と開発効率の向上を実現しようというものである。これについては、ワークロイ

ド開発・製品化の具体的事例の分析を踏まえて解明すべき疑問が幾つか指摘された。本研究では、第3節の「テムザック (tmsuk) 社の事例研究」、および第4節の「テムザック社の事例を踏まえたワークロイドの開発思想・開発方式についての検討」でこの課題に取り組む。

④～⑧は、より広い環境面での取り組みである。このうち「④ ワークロイドの相談窓口、ワークロイド関連技術の教育・啓蒙」は、ロボットの最新情報の発信・相談の窓口、およびユーザーのロボット関連技術のリテラシー向上のための教育・啓蒙活動と資格制度の推進といったものである。「⑥ ワークロイド全般に対する支援制度拡充の促進」は、ワークロイドにフォーカスした開発支援制度の創設、現場導入への補助金、助成金等の支援制度の拡充を指す (WUA, 2020)。

「⑤ ロボット・フレンドリーな環境整備」についてやや詳しく解説しよう。福澤 (2021) によれば、ロボット・フレンドリーな環境とは、具体的には次のようなものである。

- ・ オフィスビル、商業施設、駅、ホテル、病院等の施設内で、ロボットが搬送・清掃・警備等の作業を自律的に行う際に、移動の障害を除くことである。例えば、ロボットとエレベータ・扉との通信連携、床・壁等の材質や各スペースの寸法・色等を標準化する。
- ・ スーパーやコンビニといった小売店舗で、品出し (陳列)、在庫管理、レジ決済をロボット化する際に、商品画像マスターデータを整備するとともに、施設環境の物理的特性 (床・壁等の材質、各スペースの寸法・色等) の標準化を行う。
- ・ 惣菜製造工程をロボット化する際に、ロボットが動作し易い盛り付けラインの構想設計を行う、あるいは、半固形・不定形・粘性の高い食材 (ポテトサラダ等) を掴むためのハンドを開発する。

以上のような形で、<ロボットフレンドリーな環境の実現→ロボットの技術仕様の収斂→ロボットに必要な機能が明確になり大量生産が可能に→ロボットの価格が低減→ロボットが導入し易くなる、導入普及の増加 (→ロボットに必要な機能が明確になり大量生産が可能に) >、という具合に事態が進展することが期待されている。

3. テムザック (tmsuk) 社の事例研究

本節では、多種多様なワークロイドの開発・製造で豊富な実績のある「株式会社テムザック (tmsuk)」 (以下、テムザックと記述) を事例として取り上げ、ワークロイド企業の経営実態と競争力基盤、およびビジネスモデルについて具体的に検討したい。

3.1 テムザックの会社概要と発展の軌跡²

テムザックは、「人に役立つロボットをつくる。」を理念とし、2000年1月、福岡県北九

² 以下本項の記述は、特に断りのない限り、岸本 (2019, pp. 78-83) を要約したものである。

州市にて創設されたベンチャー企業である。同社に注目する理由は、次のようである。第1に、同社の製品は、ウェブサイトで公開されているだけでも、モビリティ、医療、教育、介護、家庭、警備、災害救助、建設、鉄道の9つのカテゴリーに分かれ（図1）、30種類以上にのぼる（高本，2021）。加えて、顧客への守秘義務により非公開のものも多数ある。しかも、そのほとんどは具体的に顧客・販路を持つ実用製品であり、近年では会社全体としても経営の安定化が見込まれている。³

図1 テムザックの製品カテゴリー



（出所）テムザック（2021）より引用。

第2に、同社は国内外の数多くの大学研究者（大学の数で約50校、研究者の人数では約100名）と協力関係にあり、オープンイノベーション・ネットワークの中核に位置する。これを背景に多数の大企業・公的機関等からの製品開発依頼があり、同社は大学からの技術シーズと現場からのニーズがマッチングされ製品化される場となっている。その結果、製品開

³ テムザックの最終目標は、ロボットの量産・量販により安定的に利益を上げることである。ただ、近年はそこまで行かずとも、ロボットの開発受注に伴う開発費の収入で相当の収益が上がっており、決算期により若干の波はあるものの、概ね黒字化しているという（tmsuk-2022）。

発力で大企業を上回る実力を有するとみられる。

テムザック創設の経緯を略説すると、その直接の前身は「テムス (TMS)」社であり、日本水産向けトロール船のコンベアラインシステムや食品加工ラインの開発・製造を手掛けていた。1993年、新社屋（北九州市門司区）で、コンベアライン製造で培った技術を基に受付・案内用ロボット「テムザック I 号機」を製作・配置したところ、マスコミの注目を集めロボット開発へと進み出した。1998年、世界初の PHS 回線を使って遠隔操作するロボット「テムザック III 号機」を開発し、さらに福岡創造的中小企業振興対策費・補助金を得て、1999年に「テムザック IV 号機」を開発した。IV号機は15台製作されたが、うち11台は早稲田大学、神奈川工科大学、明治大学、金沢工業大学といった大学のロボット工学研究者や企業によって購入された（残り4台は、テムザック社保有）。これがオープンイノベーションの始まりである。2000年1月、サービスロボット専門メーカーのテムザック (tmsuk) 社を創設し（創設者・現議長 高本陽一氏）、ロボット事業に専念することとなった。元々、ロボットを開発するたびにマスコミから注目を浴びていたこともあり、三洋電機やオムロンなどを含む多くの投資家から資本金20億円を調達した。

同社は、2009年5月に福岡県宗像市へ本社屋を移転し、さらに2021年4月に京都市に本店登記を移転した。現在、資本金7億5,660万円（2022年1月末時点）で、宗像市の製造拠点、京都市の本店・中央研究所、台湾台北市の子会社 (tmsuk formosa, 量産拠点)、関連会社2社（福島県会津若松市 AIZUK, 福岡県福岡市 ROBICS）を擁している。社員数は、宗像と京都で35名、台湾子会社は10名、AIZUKが17名、ROBICSが2名で、計60余名である。社員の多くは技術者兼研究員という製品開発主体の企業である (<https://www.tmsuk.co.jp/about/> 2022年2月21日閲覧；tmsuk-2022)。

3.2 テムザックの製品開発力の秘密⁴

ここでは、中小企業のテムザックが大企業を凌ぐ高い製品開発力を発揮できる仕組みを、共同研究開発ネットワーク、コアコンピタンス、オープンイノベーション・ネットワーク形成・拡大の仕組みの順で解説する。

(1) 共同研究開発ネットワーク

テムザックは、オープンイノベーションの切っ掛けとなった「テムザック IV 号機」を開発・製造した時点で、①高度なメカトロニクスのノウハウ、②移動体通信網を利用した遠隔操作、③人の感覚に近づけた操作系システムをコア技術として有していた。その後、国内外の大学・研究機関、企業との連携と共同研究開発のネットワークを構築・拡大し、多種多様なロボットの開発に取り組んできた。

⁴ 以下本項の記述は、特に断りのない限り、岸本（2019, pp. 83-97）を要約したものである。

特に大学研究者との連携が多く（約 50 大学，約 100 人の研究者，うち 7 割は日本），主なものとして次のような大学が含まれる。

- ・ 日本：会津大学，神奈川工科大学，金沢工業大学，北九州工業高等専門学校，九州工業大学，九州大学，神戸大学，昭和大学，千葉大学，鳥取大学，長岡技術科学大学，長崎工業高等学校，長崎大学，広島大学，福岡歯科大学，明治大学，立命館大学，早稲田大学，等。
- ・ 海外：聖アンナ大学院大学（イタリア），クランフィールド大学，プリマス大学，西イングランド大学（以上，英国），キングアブドルアジズ大学，キングサウド大学，プリンセスヌーラ大学（以上，サウジアラビア），フランホーファー研究所（ドイツ），等。

そして，ネットワークの中には，ロボット研究の世界で権威とされる人物も含まれる。例えば，早稲田大学創造理工学部総合機械工学科教授の高西淳夫氏（2015～16 年，日本ロボット学会会長），ソニーコンピュータサイエンス研究所代表取締役社長兼所長の北野宏明氏（日本の AI 研究をリード），イタリア聖アンナ大学院大学バイオロボティクス研究所教授の Paolo Dario（パオロ・ダリオ）氏（欧州 Robotics 研究の中心人物）である。

テムザックは，様々な関連分野の研究者を引きつけ，結果的に，自社開発を主とする大企業をはるかに凌ぐ情報量を獲得する。また，こうした協力ネットワークを活用し，会社本体は限られた人員でも，適宜開発チームを編成できるのであり，これが迅速・柔軟でローコスト，ハイパフォーマンスな開発を実現する鍵である。

逆に大学研究者がテムザックのようなロボットメーカーと協力するのは，次のようなメリットがあるからである。

- ・ 研究成果の応用可能性の探究，試作や論文作成・学会発表
- ・ 商品化された場合のロイヤルティ獲得
- ・ 外部資金（NEDO 等）への共同申請
- ・ テムザックからの一部の研究開発業務の受託による資金（研究費）獲得

加えて，数あるロボットメーカーの中でも特にテムザックが大学研究者を吸引する理由としては次のようなことがある。

- ・ コアコンピタンス（インテグレーションと実用化の能力）
- ・ 製品ラインナップの幅広さ（間口の広さ）
- ・ サービスロボット業界の先駆者としての希少性（注目を浴びやすい）
- ・ オープンな社風（敷居の低さ）

このうち「コアコンピタンス」については，以下で詳説する。

(2) コアコンピタンス：インテグレーションと実用化の能力

テムザックの製品開発力の源泉は，突き詰めると次の 2 つである。

- ① インテグレーション（総合化）能力：上述の高度なメカトロニクスや移動体通信の遠隔操作といった基礎技術を土台に，ロボット開発に必要とされる様々な要素技術・

ノウハウを掌握し、加えて多数の（個々の分野で）優秀な研究者とのネットワークを活用して、先端的なロボットを迅速に開発できる能力。

- ② 実用化（製品化）能力：ロボットが使用される現場の環境条件やユーザーのニーズに精通し、耐久性、サイズ、重量、コスト、多様なパーツの選択肢、使い易さを考慮しつつ、サービスロボットとして必要とされるスペックを満たすべく最適解を見つけ出す能力。

①について敷衍すると、ロボットは、コントローラ（脳・中枢神経系に相当。コンピュータ・電子回路で構成）、センサー（感覚器に相当）、アクチュエータ（筋肉に相当。モーターや油圧など）の3つの基本構成要素が機械メカニズム（アーム等の作業機構、車輪・脚等の移動機構）の中に埋め込まれたものである（高西，2016）。ロボット全体を構築するためには、こうした技術領域を概ねカバーできる必要がある。テムザックは基本構成要素を概ねカバーでき、その他の実用化技術も多く有している。不足部分は、大学研究者等とのオープンイノベーションで補っている。他方、大学研究者は、個別の要素技術では優れていても、カバーできる範囲が狭い。そのためロボット全体の総合企画力を持つ同社がオープンイノベーション・ネットワークの中心に位置づけられることとなる。

加えて、ロボット全体を構築するには、単に幅広い要素技術・ノウハウが必要なだけではない。メカ（機械系ハードウェア）、エレキ（電気系ハードウェア）、ソフト（制御プログラム）という異なる領域に属する技術が混在し、分野の壁を越えた調整や連携が必要なため難易度が高いのである。いわゆる「メカ・エレキ・ソフト複合製品」（藤本，朴，2013）である。通常の技術者は、メカ・エレキ・ソフトの何れかの専門で、他分野に跨る調整は容易ではない。テムザックには、こうした複数分野をクロスオーバーできる多能的技術者（「プロデューサー」的人材と呼ばれる）が存在しており、それが同社の強みの1つである。

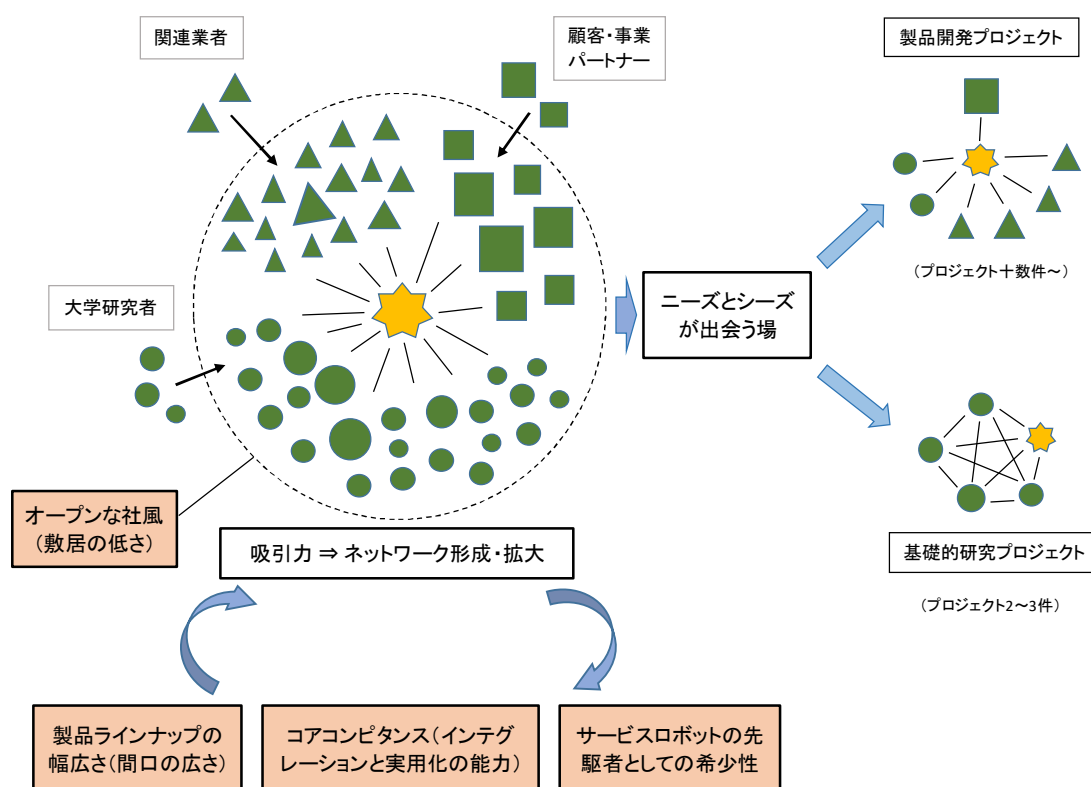
次に②について解説すると、サービスロボット開発の難しさは、製品を応用する分野の事情がそれぞれに異なり、それに合わせたノウハウが必要なことである。この面でもテムザックは様々なノウハウを知っており、また各分野の現場のニーズや環境条件に精通している。製品開発に際して、同社の社長や幹部級社員から末端の技術者に至るまで頻繁にロボットが使用される現場に足を運び、必要ならユーザー企業と共同開発を行い、顧客の真のニーズや使用現場の実情に触れる的確に理解するセンスを鍛えているのである。

(3) オープンイノベーション・ネットワーク形成・拡大の仕組み

以上を踏まえ、テムザックのオープンイノベーション・ネットワーク形成・拡大の仕組みを整理したものが図2である。まず、図の下部に、同社の強みとして「製品ラインナップの幅広さ（間口の広さ）」「コアコンピタンス（インテグレーションと実用化の能力）」「サービスロボットの先駆者としての希少性」がある。これらと「吸引力 ⇒ ネットワーク形成・拡大」は互いに影響し合う自己強化型ループとなっている。

破線のサークルは、テムザックと各種パートナーの緩やかな繋がり の範囲を意味しており、ここでニーズとシーズが出会い、適宜必要なメンバーが動員されプロジェクトが生まれる。不足する技術・部材等は新たな研究者・業者等を追加的に引き込んで対処する。ネットワークには、部材メーカー等の関連業者も多数含まれ、必要に応じて、そのアイデアやノウハウを取り入れている。「オープンな社風（敷居の低さ）」とも相まって、ネットワークがどんどん拡大し、他の製品の開発時にも適宜活用される。こうしたネットワークを背景に、社内外の知識を結び付け、実際にプロジェクトの管理・運営をするのは「プロデューサー」的能力を持つ同社の技術者である。

図2 テムザックのオープンイノベーション・ネットワーク形成・拡大の仕組み



(注) 図中の図形は、各々、○は大学研究者、△は関連業者、□は顧客・事業パートナー、☆はテムザック（もしくはその社員・チーム）を指す。図形の大きさや数はあくまでもイメージで厳密な意味はない。（出所）岸本（2019, p. 96）の図3を引用。

プロジェクトは、「製品開発プロジェクト」と「基礎的研究プロジェクト」に大別される。図2では簡略化しているが、実際は多数のプロジェクトが並行実施されている。大半は製品開発に直結するものであるが、将来のキーテクノロジー取得のため大学研究者と共同での基礎的研究プロジェクトも少数実施されている。

製品開発プロジェクトでは、大企業が顧客であることが多く、共同開発の形をとることもあるが、製品開発はあくまでもテムザック主導で行われる。同社が有していない部材や技術が導入される場合でも、製品全体の設計とインテグレーションは同社が担う。また、同社は、基本的にロボットの一部分ではなく完成品全体の開発しか受注していない。

3.3 テムザックの新展開：ビジネスモデル構築に向けて

テムザックは、以上のような仕組みで企業規模の小ささにもかかわらず多数の製品を開発してきており、その製品は基本的に具体的な顧客とニーズがあって開発されたものである。ただしその大半は、本格的な量産・量販には至っておらず、2018年の筆者面談調査時点では、主に受託開発による収益で経営が黒字基調に転ずることが見込まれるという段階であった（受託開発の場合、開発費は顧客負担で、加えて開発の利益も得られる）（tmsuk-2018）。テムザックが受注する製品は、基本的に将来量産・量販に繋がることが期待されるようなものである。販路開拓に向けた努力はこれまでも適宜行われてきたが、近年、市場創出とビジネスモデル構築への取り組みが本格化している。以下、公開されている製品の中から幾つかの具体例を取り上げ、この点について解説する。

(1) 医療・教育分野

① 医療シミュレーター DENTAROiD

「デンタロイド (DENTAROiD)」の開発は2010年に遡り、2011年に改良型が発表された（各々、「昭和花子」「昭和花子2」と呼ばれた）（図3）。昭和大学や工学院大学、早稲田大学の研究者が開発したプロトタイプを設計し直し実用化したものである。デンタロイドは、歯科学士の臨床実習や試験用として開発された歯科患者シミュレーターで、口の中の構造や舌の動きなど人間そっくりに作られているだけでなく、音声認識機能を有し、医師の指示に従って口を開け、顔の向きを変える動作や、不意な首振りや咳き込み、不調の訴えなどの人間同様の動きを再現することができる。実習内容に合わせて遠隔操作する仕組みとなっており、治療中に起こり得る心筋梗塞やアレルギー反応、過呼吸など緊急時の対応を疑似体験することができる。脈や呼吸の変化も再現可能である（高本，2021；岸本，2019）。

デンタロイドの販路開拓については、国内外の其々で専門の商社に委託している。現在までの出荷実績は、国内では昭和大学と福岡歯科大学に2台ずつ、海外ではサウジアラビアに6台、タイに2台、そして米国、トルクメニスタン、中国ウイグル自治区に1台ずつが納入されている（tmsuk-2022）。

図3 デンタロイド (昭和花子2)



(出所) テムザック社ウェブサイト (<https://www.tmsuk.co.jp/products/> 2022年2月11日閲覧) より引用。

② 小児患者型ロボット Peida_Roid

デンタロイドは成人女性を模ったものだが、実際には子供の患者の医療事故が多いことに鑑み、2020年10月に「ペディアロイド (Peida_Roid)」が発表された (図4)。これは瞳孔の変化や顔色変化、ジタバタ暴れる手足の動き、痙攣などの実際の患者さながらの動きができ、心臓マッサージ、人工呼吸、静脈注射も行えるように作られている (高本, 2021)。

出荷の実績では、今のところ福岡歯科大学に1台導入されているだけである。だが、九州大学医学部からも、気管挿管などの実技訓練に対応できるような改造版のニーズが出ており、歯学以外での臨床実習へと応用分野が広がりつつある (tmsuk-2022)。

図4 ペディアロイド



(出所) テムザック社ウェブサイト (<https://www.tmsuk.co.jp/products/> 2022年2月11日閲覧) より引用。

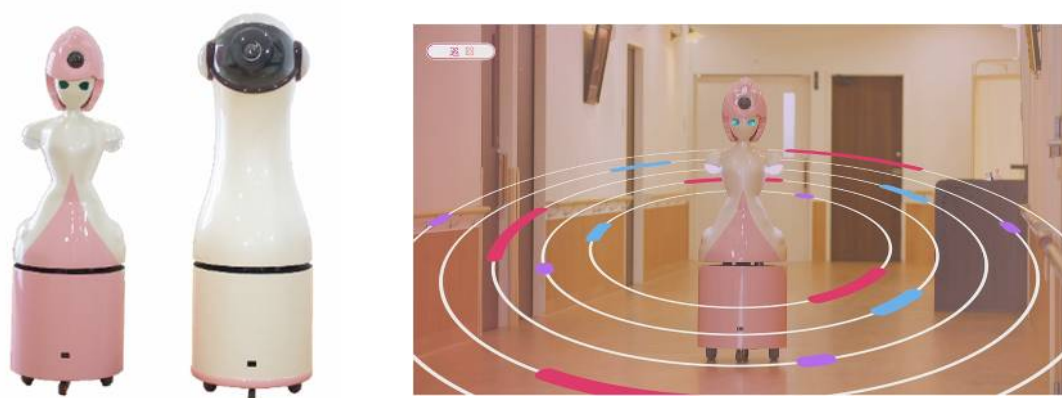
デンタロイドおよびペディアロイドの市場創出・ビジネスモデル構築へのテムザックの取り組みとして、現在はまだ構想段階であるが、「メディカルシティ (Medical City)」(仮称)の建設がある。メディカルシティとは、例えば国内の大学・医療機関と連携し、デンタロイドやペディアロイドのような最新鋭の三次元の人型シミュレーターと da Vinci のような最新鋭の手術マシーンを導入した最先端の医療訓練施設を建設し、国内のみならず海外、特に

アジア諸国の医療従事者を数ヵ月間住ませ研修させる（海外研修者の家族もその期間、そこで生活し、あるいは短期留学が出来るようにする）というものである。そこでデンタロイドやペディアロイドの価値が認められれば、海外への出荷も増えることが期待される（tmsuk-2022）。

(2) 介護分野：自動駆けつけ介護ロボット SOWAN

介護現場では人手不足が顕在化している。24 時間体制が求められる現場では、特に夜間はスタッフの数が少なく負担が増加し、これが離職に拍車をかけている。こうした事態に対応するために開発されたのが、「ソワン (SOWAN)」である (図 5)。ソワンは、テムザックが介護サポート事業を営む高山商事（愛知県名古屋市中央区栄三丁目 12 番 6 号ライオンズマンション栄 811）からの依頼で開発し、現在、高山商事が経営する介護施設で導入されている（高本，2021；tmsuk-2022）。

図 5 ソワン



(出所) テムザック (2021) より引用。

ソワンは Wi-Fi により施設内の管理室の制御 PC と繋がっており、管理室から遠隔でソワンを制御する。ソワンには次のような機能がある（高本，2021；<https://takayama-co.com/sowan/> 2022 年 2 月 20 日閲覧）。

- ・ いつも見守り直ぐに駆け付ける。普段から利用者の体調を活動量計（利用者の腕に装着）でいつも見守る。活動量数値（脈拍数値）が設定値を超えると、活動量見守りシステムを管理するサーバーから出動指示を受け、利用者の居室に駆け付ける。
- ・ 1 人歩きの利用者を認識し声掛けする。施設内で徘徊する人が多いため、事前にバーコード登録した利用者を巡回中に認識した時は、「〇〇様。お部屋にお戻りください」などと自動で声掛けする。巡回する時間帯などにより声掛けの内容は変更可能。
- ・ 自動片引き戸開閉装置ポルテアと連動し、ソワンが単独で居室に入ることが出来る。ソワンが入り口に近づき指示を出すと自動で引き戸が開閉する仕組みとなっている。

- ・ 巡回。ソワン設置時、スタッフと一度施設内を巡回することで、自動で MAP を作成する。その後はルート、時間などを設定すると自動で巡回する。ルート、時間は変更可能（非常に簡単なパッケージになっているので、ユーザー側で自動運転の設定が出来る）。センシングは 360 度可能。巡回後は自動で充電ドックに戻る。
- ・ 転倒者を検知し通報する。転倒者を発見すると、警報を発してスタッフに知らせる。

ソワンは、活動量見守りシステムの一部である。利用者の腕に装着した活動量計から常時、活動量の情報が高山商事の専用サーバーへ送信され、継続的に見守りが行われている。活動量情報は常時、居室のタブレット端末画面で確認できるとともに、サーバーを介して施設管理室の活動量表示 PC と管理用スマートフォンへも送信される。活動量数値が設定値を超えると、サーバーから出動指示を受けたソワンが自動的に居室まで駆けつけ、入室と同時に録画を開始する。施設スタッフはその映像を遠隔で確認しつつ、利用者と会話することもできる (<https://takayama-co.com/sowan/> 2022 年 2 月 17 日閲覧)。

これを商品化するために、ソワン本体 1 台、自動片引き戸開閉装置ポルテア 10 個、利用者の腕に装着する活動量計 10 個、その他制御・管理用の PC/タブレット/スマートフォン等のセットで、月に 66,000 円のリースで販売ということで開始した (<https://takayama-co.com/jigyou/> 2022 年 2 月 17 日閲覧)。ビジネスモデルとしてみたテムザックならではの特徴は、リースを通して手頃な価格（スタッフを 1 人雇う人件費より安価）で届けられるような体制を構築していることである。加えて、同社は多種多様なロボットの開発実績と自動運転も含めた多くの技術の蓄積があり、介護用ロボットの開発のみを手掛けている他のメーカーに比べ、ロボットを安価に作れるという優位性がある⁵ (tmsuk-2022)。

(3) モビリティ分野：次世代スマートモビリティ RODEM

「ロデム (RODEM)」は、2009 年に電動車椅子型ロボットとして発表された。ロデムの特徴は、後ろ乗りで座席部分が昇降するため、利用者は介助なしに自力で移乗できることである。その後、デンマークでの実証実験等を通してバージョンアップが行われ、2017 年に本格量産機の「新型 RODEM」が発表された (岸本, 2019)。

ロデムの活用シーンの具体的なイメージを示すと (図 6)、利用者が部屋の隅にあるロデムをスマホで呼ぶ。座席をベッドの高さまで下げ、そのまま体を前にスライドさせることで移乗できる。普通車椅子はお尻と背中中で体を固定するが、ロデムは膝当てと胸当てで体を固定する。そのため、例えば洗面台で、蛇口の奥まで十分手が届く。普通の車椅子は手が届かな

⁵ 実はソワンもかつて開発した他のロボットの改造・廉価版であるという。それは 2004 年開発の巡回警備用ロボット「T63 アルテミス」である (tmsuk-2022)。アルテミスは、予めプログラムした経路図に従って自動巡回し、各階の移動を人と同様にエレベータのボタンを押し乗降でき、炎センサーや人感センサーにより巡回中に異常があった場合、警備センターに通報する。その後、自律機能から遠隔操作に切り替わり、警備員が安全な場所から操作できる、というものである (<http://www.tmsuk.co.jp/> 2017 年 2 月 3 日閲覧)。

い。前方に邪魔になる部品がないので乗ったままドアを開けることもできるし、テーブルの上で食事や作業をすることもできる。ベッドに戻る時はシートをベッドの高さまで下げて、後ろに体をスライドさせればよい。ロデムに乗って座席を上げると目線の高さが、通常人が立った時の高さと同じくらいになるため、横に並ぶ歩行者と同じ目線で話ができる（高本，2021）。

図6 ロデム

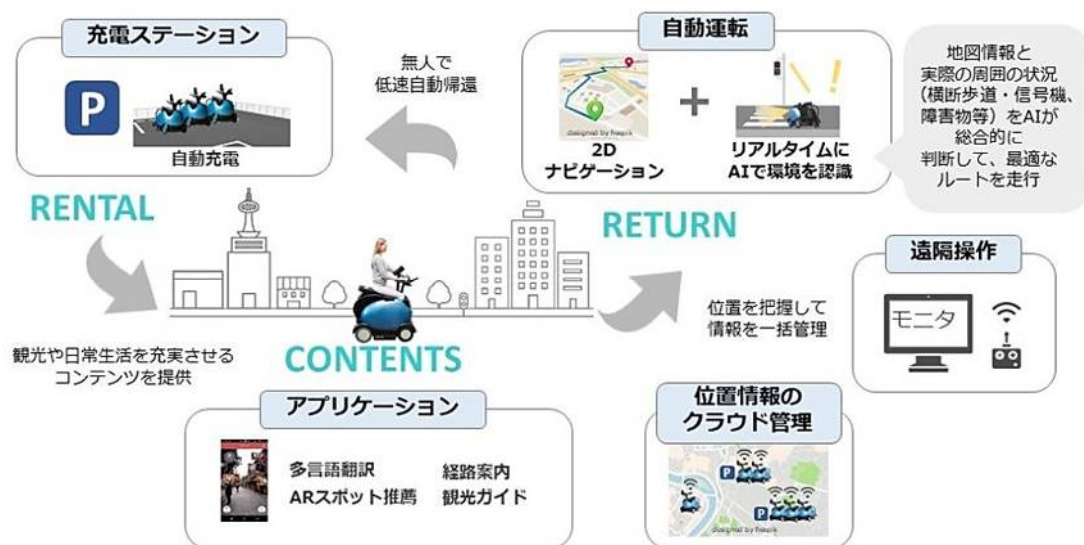


（出所）テムザック（2021）より引用。

テムザックは、ロデムを開発し、後ろ乗りで座席が上下する車椅子という形で特許を申請し、日本をはじめ米国，中国，欧州など世界各国で特許を取得している。発表当初は，車椅子とは別物であるといった批判的意見が多く出たが，その後，日本規格協会等と相談し「馬乗り形電動車椅子」という JIS 規格が新設された。その結果，電動車椅子として時速 6 km 以下のスピードなら歩道も自在に走れることとなった（高本，2021）。

元々介護用として開発されたロデムであったが，実は当初から健常者も含めた小型シティモビリティとして活用する可能性も考慮されており，近年その事業化の構想が本格化している（図7）。例えば，観光地等における「ラストワンマイル」の移動手段として，充電・レンタルステーションで貸し出す。電動・小型で小回りの利くモビリティなら歩道や観光施設内など屋外・屋内を区別なく自由に回遊できる。機体には，遠隔操作，衝突回避機能，バックモニター，自動運転，自動充電等の機能が搭載される。これにより，どこかで乗り捨てられたロデムが自動運転もしくは遠隔操作で最寄りのステーションに戻り充電されるといったことも可能となる（現状では，道路交通法上で自動運転は許可されていない）。NTT ドコモと組んで通信機能も付与される。位置情報のクラウド管理に加え，ロデムに装着されたタブレット端末を通じ，AR スポット推薦，多言語翻訳，経路案内，観光ガイド，キャッシュレス決済等のサービスが提供される（高本，2021；tmsuk-2022）。

図7 ロデムのシティモビリティとしての事業化（シェアリング）のイメージ



(出所) テムザック社ウェブサイトの「リリース：5Gを活用した、次世代スマートモビリティ『RODEM』の遠隔操作実験を実施」(2020年3月18日発表) (<https://www.tmsuk.co.jp/topics/1349/> 2022年2月20日閲覧) より引用。

過去数年で、こうした運用に向け実証実験が積み重ねられている。主には次のようなものがある（以下、特に断りのない限り、高本，2021；テムザック，2021に基づく）。

- ・ 京都市 嵐山エリア（2018年7月9日～7月10日）にて、京阪バス、NTTドコモとの共同実施。京阪バス駐車場・土産店から竹林や渡月橋へロデムで移動してもらうというもの。多言語翻訳、経路案内、観光ガイド等の機能を搭載。
- ・ けいはんな学研都市（2019年3月5日）にて、オムロン ソーシャルソリューションズとの共同実施。自動運転化に向けて、横断歩道のディープラーニングと、信号機に対応した自動停止と発進を検証する実験。
- ・ 東京都 丸の内エリア（2019年3月18日～3月22日）にて、NTTドコモ、三菱地所、三菱地所設計との共同実施。仲通りを自由に周遊してもらい、NTTドコモのクラウド管理により、ARスポット案内、多言語翻訳といったサービスも提供。
- ・ 奈良市 平城京跡歴史公園（2019年11月29日～12月12日）にて、NTTドコモとの共同実施。来園者の回遊性と満足度の向上、多言語案内の実験。
- ・ けいはんな学研都市（2020年2月17日）にて、NTTドコモとオムロン ソーシャルソリューションズとの共同実施。5G遠隔操作実験で、日常の様々なシーン（例えば、横断歩道を対向からくる人を避けつつ渡る、小さなスペースに安全かつ正確に駐車する）で安全に走行できるかを検証した。実験の目的はモビリティの遠隔操縦に必要な制御の検証、複数台のカメラを同時接続したときの映像画質、低遅延の確認、モビリティの遠隔操作サービスの課題の洗い出しである。

- ・ 宇都宮市 大谷資料館敷地内（2020年11月2日）にて、関西電力、ダイヘンと共同実施。非接触の自動充電装置を製作し実験。
- ・ 京都市 東映太秦映画村（2021年3月13日～3月14日）にて、京都府、東映太秦映画村、たけびし、エイビットと共同実施。テーマパーク初の実証実験で、ローカル5Gを活用した遠隔操作の体験会。
- ・ 横浜市 金沢シーサイドタウン並木一丁目第二団地(2021年10月27日～10月28日)にて、NTTドコモ、UR都市機構、日本総合住生活株式会社と共同実施。ロデムを活用した自動運転・遠隔操作による商品の自動配送サービスの実証実験 (<https://www.tmsuk.co.jp/topics/2391/> 2022年2月17日閲覧)。

テムザックはこうした実証実験を積み重ね、近い将来、関連分野の複数の大企業と連携して、京都市内にてシティモビリティ事業を開始しようとしている。自動運転の技術は既に基本的に確立できているが、最初から自動運転ロボットということで事業化しようとする許可されないの、まずレンタルから始めて、法律が変わるたびに自動化を進めて行くという方針である。しかも観光地である京都の特性に合わせ、単なる乗り物のシェアリングというよりも、観光案内や多言語対応、買い物での便宜等のサービスを提供し、京都観光の新局面を開くようなコンテンツの開発も視野に入れている。このように、シティモビリティ分野のテムザックのビジネスモデルは、ロデムを単品として販売するよりも、こうした事業モデルごと売り出すというものであり、先ず京都で試みて成功すれば、他の都市にも展開しているとしているのである（高本，2021；tmsuk-2022）。

(4) 建設分野：天井石膏ボード貼り建築施工ロボット Carry & Shot

「Carry & Shot」は、積水ハウスからの依頼で2018年に開発された(図8)。1枚200cm×100cm、重量17kgほどの石膏ボードを持ち上げ天井にビスで打ち付ける作業で、従来職人が人力で行っていたことを、過酷な作業負担による人材不足に対応しロボット化しようというものである。2台1組のロボットがそれぞれ自律しコミュニケーションを取りながら協調作業を行う(岸本，2019)。

具体的には、Carryが天井を測量し割振りして石膏ボードを持ちあげ、大体の位置まで持っていく。Carryの視界(カメラ)がボードで遮られるので、Shotが横から見て位置の微調整を指示する。位置がピッタリと合うと、全部で50本打つビスのうちCarryが8本だけを打ち仮留めをする。その後、Shotが残る42本のビスを打って固定する。Shotの作業中、Carryとぶつかりそうになると、Shotが次の作業に入るよう指示を出し、Carryは次のボードを取りに行く。途中で障害物があれば、ロボット自身が避けて目的地点に移動する、といった具合である。なお、図8では2台1組に見えるが、実はCarryとShotは各々、上の作業用ロボットと下の走行用ロボットの2台が結合したものである。正確には4台のロボットが各々CPUを持ち、クラウドに一々データを上げクラウドから指示されるのではなく、

無線で互いに通信しながら、AI で自律的に判断して以上のような作業を進めて行くのである（高本，2021；tmsuk-2021；tmsuk-2022）。

図 8 Carry & Shot



（出所）テムザック（2021）より引用。

現状では（見かけ上）2台1組だが，将来的には，さらに機能を分けて，ボードを取りに行くだけのロボット，それを持ち上げるロボット，ビスを打つロボットなどのように種類を増やして効率化を図ることを考慮している。ビジネスモデルとしては，こうした複数のロボットをユニットとして販売し，例えば積水ハウスのような大手が傘下の工務店等に持たせるようにするといったことが考えられている（tmsuk-2021）。

Carry & Shot は，群型ロボット実用化の実例としても画期的である。群型ロボットとは，「特定の機能を有する複数のロボットが，通信でコミュニケーションを取りながら，ミッション毎に融合して作業を行う」ものである（WUA，2020，p. 1）。テムザックは，AI自動運転の技術は無論のこと，マルチロボット協調技術，つまり群れとしてどう動いていったら作業効率が良いかをロボット同士でコミュニケーションしながら決めていくという技術でも業界の最先端を行っている（tmsuk-2022）。これは，上述のように WUA のワークロイドの開発思想の一部として言及されており，ロボットの開発費用軽減と開発効率向上のカギの1つとなる重要技術である。

ロボット同士のコミュニケーションの手段として，現状では，特定小電力（普通の無線）による直接的な通信が多いのだという。Wi-Fi は速度が遅い，途切れがちになるといった欠点がある。また，データを一々クラウドに上げて複数台のロボットを統括して制御する方式は，やり易い反面，クラウド側でデータを整理して命令を下すのに手間がかかり，実際の作業現場では間に合わない。加えて，5G の活用も期待されるが，5G は現在直進性が強く，少し角を曲がったりすると中継が必要となる。5G が社会インフラとして本当に実用化されるのか，それとも現場に一々5G の仕組みを作るのか，といった問題がある。現状では，無線

機は容量の大きなデータは飛ばせないため、各ロボットが自分でデータを処理して演算結果だけを無線機で飛ばし合うという方式が一番コンパクトなのだという（高本，2021）。

(5) 災害救助・危険作業分野：レスキューロボット 援竜

「援竜」は、2000年に発表された「テムザック V 号機 (T-5)」を始めとする。1995年の阪神淡路大震災の後に、神戸市と（援軍派遣を行った）北九州市の両方の消防局から、1日中活動できる双腕ロボットの製作を要請されたのが開発の切っ掛けである。訓練された消防隊員でも災害現場での救出作業では短時間しか体力がもたないことへの対策である。この後継機「T-52 援竜」（2004年発表）は、北九州市消防局，独立行政法人消防研究所，京都大学など「防災ロボット開発会議」のメンバーと協力し開発された。駆動系に油圧シリンダー方式を採用し（T-5は水圧方式），実用的な把持力を実現した。人が乗り込んで操縦するほか，危険地帯の作業を想定した遠隔操作も可能である。防水加工も施され，全天候下での活動が可能である。これをベースに，その後「T-53 援竜」（2007年発表），「T-54 援竜」（2016年発表）と後継機が開発されている（図9）（この他，レスキュー用および派生用途向けロボットで非公開のものもある）（岸本，2019）。

図9 援竜（左から，T-5，T-52，T-53，T-54）



（出所）テムザック（2021）より引用。

援竜の外観からは，ショベルカーのような建設機械を少し変えただけのように見えるが，技術的には大幅に異なっている。普通の建機は腕の自由度は4（可動部分である関節・軸が4つ）程度しかないが，援竜は6～7軸である。7軸は人間の腕と同じ自由度であり，⁶ かなり複雑な動作が可能となる。自由度が上がると当然，技術的難易度も高くなる。遠隔操縦装置では，当初直感的な操作が容易にできるマスタースレーブ方式⁷ が採用されていたが，こ

⁶ 人間の腕の7つの自由度とは，①肩の前後の自由度，②肩の左右の自由度，③上腕を捻ることができる自由度，④肘の曲げ伸ばしができる自由度，⑤前腕を捻ることができる自由度，⑥手首を掌方向に曲げる自由度，⑦手首を横に動かす自由度，以上である（https://www.yaskawa.co.jp/wp-content/uploads/2011/12/P18_19.pdf 2022年2月20日閲覧）。

⁷ マスタースレーブ方式とは，遠隔操作システムの1つで，制御・操作を司る「マスター」機が指示する位置情報に従って制御下で動作する「スレーブ」機が追従するシステムのことである。具体例として，内視鏡外科手術を行うロボット「da Vinci」がある。患者から離れたところにい

の方式で実際に長時間使用すると操作者の疲労が相当なものとなる。そこでゲーム機などでよく見られるジョイスティック方式を採用することとなったが、ジョイスティック 1 本で 7 つの関節を持つ腕 1 本を操作するのは制御技術としては非常に高度なものである。例えば、人間の腕で、手首が斜め上に動いた時に肘や肩もそれに追従して位置と角度が変化していく。ジョイスティックで手首位置を制御したら、残りの 6 つの関節は自動的にそれに合わせて微妙に動いていかないと手首が斜め上にスムーズに進まない、といったことである。制御はソフトウェアで行うが、こうした高度な制御技術を持ったエンジニアは希少であるという (tmsuk-2021)。

レスキューロボットの開発・普及でハードルとなるのは、技術的な難易度の高さ以外に、こうしたロボットの開発・製造を発注するアクターが限られているということである。四足歩行ロボット BigDog の開発で有名な米国の Boston Dynamics 社が国防高等研究計画局 (Defense Advanced Research Projects Agency : DARPA) の支援を受けていたことは周知のことである。戦場も含め危険なフィールドで実際に作業するロボットは、現実的には、軍や警察・消防のような政府機関が支援し発注しないと採算も取れず開発も進まない。日本は自然災害が多いが、そうした災害対策用ロボットを、テムザックのような民間企業が具体的な発注もなしに独自に作り置きしておくことは無理である。コミュニケーションロボットのようなものは民間主導で発展できるが、レスキューロボットのような万が一に備える特殊用途向けロボットは政府がコミットして支援・発注しないと産業として発展していかないのである (tmsuk-2021)。

レスキューロボットの分野でテムザックが考えているビジネスモデルは、「ディザスターシティ (Disaster City)」（仮称）の建設である。これは米国テキサス州にある「Disaster City」をモデルにしている。ここでは、広大な敷地内に工場、乗り物（鉄道、タンクローリー、船、航空機等）、建築物・構造物（一般家屋、店舗、ビル、トンネル、立体駐車場等）、農業施設等を模したモジュールが配置され、火災や崩落事故発生時における消防士等の訓練が行えるようになっている（眞砂，2021）。テムザックは、依然構想段階ではあるが、日本の某自治体と相談して、廃工場のエリアを利用し、そこで実際に火災や崩落のような事故を起こし消防隊等の訓練が行えるような環境を作ろうとしている。その中に援童等のレスキューロボットを導入して、実際に使用し実証実験と訓練を行う。さらにメディカルシティと同様、海外、特にアジア諸国の消防隊員等が来てここで訓練を受けるようにすれば、ロボットのレベルも向上し、また世界中にロボットを販売することにもつながるという構想である (tmsuk-2022)。

る医師が操作卓（マスター）を内視鏡画像を見ながら操作し、この医師の手指の動きを、患者の横に置かれたロボットアーム（スレーブ）が忠実に再現し手術を行う（米田・太田・三好，2011）。

3.4 ワークロイドの製品開発とビジネスモデルの構築に必要な人材

「3.2 テムザックの製品開発力の秘密」で言及したように、テムザックが大企業を凌ぐ製品開発力を発揮できているのはコアコンピタンス（インテグレーションと実用化の能力）があるからであり、その内容を要約すると次のようになる。

- ① 広範囲にわたる要素技術・ノウハウを有している。とりわけロボットの基本構成要素について概ねカバーしており、ロボットの全体像についての構想力を持っている。
- ② 実際の開発プロジェクトでは、メカ（機械系ハードウェア）、エレキ（電気系ハードウェア）、ソフト（制御プログラム）という異なる技術領域に跨る連携と調整が必要であり、これを担いうる多能的技術者の存在、および、それを育成する仕組みが重要である。
- ③ 多様な応用分野のニーズや環境条件へ精通し、顧客の真のニーズを見極めて、これを踏まえた設計開発ができる。

これを実際に担うのは「プロデューサー」的人材、つまり、自身の狭い専門分野に没入せず社内外の関連する技術や知識を持つ人々と交流し、ロボット全体の構想力とプロジェクトの管理能力を身に付けた技術者である（岸本，2019，p. 107）。

テムザックでは、これまでのところ人材育成のための体系的手法は整備されていない。大部屋的な環境で、プロジェクトチーム内での技術分野を越えた交流、および事業部やチームの壁を越えた交流が日常的に行われている。会社全体として、限られた人員で多数の製品開発プロジェクトを並行実施していることも、こうした状況に拍車をかける。技術者は、元々はメカ、エレキ、ソフトの何れかの専門であるが、こうした環境の下で、自然と（各人がいやでも学習せざるを得ないようになり）多能的技術者が育っていくのだという。一見粗放的なようで、実は、細かな分業・専門化の体制の中で部分適合した人材の多い大企業に比べ、「プロデューサー」的人材の育成には適しているのである（岸本，2019）。

これまでにない実用的なロボットを開発するにはこうした人材が必要なのだが、テムザックとの面談調査（tmsuk-2022）からは、別のタイプの「プロデューサー」的人材も必要であることが判明した。まず、上述のようなビジネスモデルを考え出し、関連分野の様々な企業・団体と連合して、これを事業として実際に動かしていく人材で、言わば「戦略プロデューサー」である。これまでのところ、テムザックでは創設者で現議長の高本陽一氏がこの役割をほぼ一手に担ってきた。今後は、総合企画戦略を立案・実施できる人材を育成もしくはスカウトする必要があるという。次に、社内の既存技術を見渡して、それに基づき新奇な発明の提案ができるような人材で、言わば「発明プロデューサー」である。これは、幅広い技術を蓄積し多種多様なロボットの開発を手掛けるテムザックのような企業が、製品開発力をより一層高めるために必要な人材である。まとめると、ワークロイド企業が本格的に発展していくには、製品開発プロデューサー、戦略プロデューサー、発明プロデューサーの3タイプのコア人材が必要なのである。

4. テムザック社の事例を踏まえたワークロイドの開発思想・開発方式についての検討

第2節でWUAが掲げるワークロイドの開発思想として、次の3点を紹介した。①ロボットの単機能化、②コンポーネントの共通化・共有化、③オープン・ソースのソフトウェアの有効活用。同様にWUAは、ロング・テール市場に対応した開発方式として、次の3点を提案している（筆者が整理し直し、一部言い方を変更している）。①共同発注による開発費用負担の低減、②開発環境（開発の用語・規格・仕様・安全認証基準等）の統一による開発効率の向上、③アカデミアの開発技術の活用。第2節では、これらについて幾つかの疑問を提示し、あるいは、これらが現実的に可能であるのか、どのような条件下で実現できるのかも自明ではないことを指摘した。本節では、テムザックの事例研究を踏まえ、こうした開発思想・開発方式について、現状でどのようなことが言えるのか検討してみたい（以下は、前節のテムザックの事例分析、および同社との面談調査〔tmsuk-2021；tmsuk-2022〕を参考にしながら筆者自身が考えたことである）。

先ず開発思想の「①ロボットの単機能化」について、これは作業工程を細分化してそれに各々対応した機能を持つロボットを作って群れとして使用するということである。実際にどこまで細分化するのかは、用途・技術の具体的状況を見る必要があり、またロボットメーカーごとに考え方の違いがあるであろう。ただし、WUAのような団体が研究会等を通して、様々な業界のユーザー企業が、これまでの現場作業の合理化・自動化の経験および現状で改善を必要としている点について知識を共有し、ロボット導入に適した作業工程のあり方やロボット活用の様々な可能性、海外の事例等についてある程度議論を煮詰めておくことは、ロボットメーカーにとっても参考となるであろう。つまり、メーカーとユーザーとのコミュニケーションを有効に管理できるかどうかはドミナントデザインを獲得する能力に影響を与えていると言われており（Utterback, 1994）、WUAのような団体がリードユーザーの考え方・要望をある程度集約しておくことは、ドミナントデザイン確立への早道になる可能性があるのである。

より重要なのは、テムザックのCarry & Shotの紹介で言及したように、群型ロボットの制御技術（マルチロボット協調技術）は非常に先端的な技術であり、これを実用化できるメーカーがテムザック以外にどれくらいあるかという問題である。将来的には、建設現場や農作業も含め様々な分野で人間に代わり作業をする群型ロボットへのニーズが高まり、そうしたロボットを開発できるロボットメーカーが一定数必要となるであろう。しかし、こうした先端技術はメーカーのコアコンピタンスの1つであり、企業の競争戦略の面からも、このような技術の普及は単純には進まないであろう。

開発思想の「②コンポーネントの共通化・共有化」については、同一企業内での実現は比較的容易である。テムザックの例で言えば、建設作業用ロボットの走行台車やロデムの足回り、あるいは援竜のアームのジョイスティック制御といったものを他のカテゴリーのロボ

ットにも流用する可能性はある。ただし、こうした応用・横展開は、製品が試作段階から本格的な量産化の段階（コスト削減や作り易さが課題となる段階）に行くときに考慮されることである。他方、企業の壁を越えた共通化・共有化については、難易度が非常に高い。上述のようにドミナントデザインが確立されそのカテゴリーの製品の外観・内部構造・機能が概ね収斂した段階でなければ、こうしたことは起こり難いのである。現状では、ルンバに代表されるお掃除ロボットやドローンのような一部の分野を除き、ワークロイドの大半のカテゴリーではドミナントデザインは存在していない。何れかのロボットメーカーの製品が市場を席卷しデファクトスタンダードになるか、もしくは、有効な技術（例えば、物を運ぶ台車ロボットを群制御する技術）をコンポーネント（台車）として他社にも売り出すといったことを通して共通化・共有化が進む可能性はあるが、その実現はかなり先のことと予想される。

開発思想の「③オープン・ソースのソフトウェアの有効活用」についても、テムザックの事例研究が参考になる。「ロボットの制御用ソフトウェアは、OS（Windows や RT-Linux のような既存のものを使う）の上にミドルウェアがあり、その上に個別アプリケーションがあるという構造である。テムザックではロボットの製品ごとにそれぞれのプログラムが出来ている。ミドルウェアにしても、RT-middleware のような規格品もあるが、色々と制約もあるため、同社ではこれを自作している。おのおののロボットで、例えば家庭用の留守番ロボットとレスキュー用ロボット（油圧で建機並みの力を出すもの）ではミドルウェアが全然異なるが、同社は、様々なタイプのロボットに対応できる。」（岸本，2019，pp. 88-89）。このように、既存のオープン・ソースのソフトウェアが必ずしも使い勝手がよくないこと、ソフトウェアによる高度な制御技術（リアルタイムプログラミング，群型ロボットの制御技術等）はメーカーのコアコンピタンスの 1 つであり簡単に開示できないこと，様々なタイプのロボットに応じたソフトウェアを開発できることもメーカーの優位性の一部であること，以上から WUA が提唱するオープン・ソースの活用で開発環境を共通化・効率化して開発費用を抑えるといったことも，その有効性・実現性はそれほど高くない可能性がある。

続いて，WUA の提唱する開発方式の「①共同発注による開発費用負担の低減」，「②開発環境（開発の用語・規格・仕様・安全認証基準等）の統一による開発効率の向上」，について検討しよう。これが提唱された背景として，上述のように，従来のロボット開発では，顧客ごとに個別に NDA の締結と特許の取得を行うため技術が自由に活用できず，また類似のニーズに一々個別的に応えるという無駄が生じるため，開発費用が高騰しロボットの普及が妨げられるという事情があった。これについて，テムザックとの面談調査（tmsuk-2021；tmsuk-2022）を参考にしつつ，筆者が考えるのは次のようなことである。一方で，複数のユーザー企業が話し合い，共通のニーズを取りまとめ WUA 等を通して発注してくれるなら，ロボットの開発も容易となり，それを複数のユーザーに販売もでき，ロボットメーカーとしては非常に有利であるということ。ただし「共通のニーズ」は，これらユーザー企業の競争力・差別化戦略の核心には触れない領域のものであるだろう。

他方で、現状でのワークロイドの製品開発では、特定のユーザー企業に密着し（しばしば共同開発も行い）、現場の使用状況を熟知してそのニーズを的確に汲み取る必要があり、これはテムザックのようなワークロード企業のコアコンピタンスの1つである。加えて、一応製品を開発した後も一定期間技術者がユーザー企業に寄り添い、メンテナンスや改良を施し製品の完成度を上げていき、量産品として安定するまで面倒を見ていくといった仕事もある。これを通して新たなアイデアの創出やビジネスチャンスの発見がなされることも少なくないのである。このようにこれまでにない実用的なロボットの創造では、最初は特定ユーザー企業に張り付いてきめ細かに対応することが不可欠である。こうした現状を踏まえると、複数のユーザー企業による共同発注といったことは、当面はあまり現実的ではなさそうである。

将来的には、あるカテゴリーのワークロイドについて、多くのユーザーのニーズを最大公約数的に満たしたプラットフォームを先ず作り、ユーザー毎の細かなニーズの違いにはオプション的なモジュールの付け替えで対応するといったことが可能になるのかもしれない。だがそこに至るのは、市場と技術の成熟（ドミナントデザインの確立）とロボットメーカーの淘汰を経た後であろう。

WUAの提唱する開発方式の③アカデミアの開発技術の活用については、テムザックの事例からも分かるように、大学研究者とのオープンイノベーション・ネットワークは現状でのワークロイドの開発にとって非常に重要であることは確かである。他方で、ロボットメーカーと大学研究者との効果的な協力関係が成立するには一定の条件がある。上述のテムザックの事例から分かったことは、先ず、大学研究者が期待するメリット（研究成果の応用可能性の探究、試作や論文作成・学会発表につながる等）が実現されることが必要である。また、テムザックが多くの大学研究者を吸引したのは、他のロボットメーカーにはない特徴があったからである。つまり、インテグレーションと実用化の能力、製品ラインナップの幅広さ、サービスロボット業界先駆者としての希少性、オープンな社風である。したがって、アカデミアの開発技術の活用も、実際にどこまで出来るかはロボットメーカーの実力や戦略、大学研究者との相性によりけりである。

5. まとめとディスカッション

本稿では、ワークロイド普及に向けたWUAの取り組みを紹介し、また多種多様なワークロイドの開発・製造実績があるテムザックの事例研究を行った。それを踏まえWUAが提唱する開発思想・開発方式について検討した。その結果、それらは理想論としては望ましいものの、ワークロイドの大半のカテゴリーで技術と市場が成熟していない状況では、短期的には実現できそうにない、もしくは、ロボットメーカー側のコアコンピタンスや戦略に関わることで単純に一般化は出来ないということが指摘された。WUAの側に、こうした制約を乗り越えて、その理想を短期間で実現する特別な方策があるのかどうかは、今のところ筆者に

は知り得ないことである。

ただし、こう言ったからといって、WUA の活動の意義を決して否定するわけではない。ワークロイド産業がこれから興ろうとする時に、ユーザー主体の団体を作って、リードユーザーのこれまでの取り組みやロボット導入によって改善すべき問題点について（各ユーザー企業の戦略の核心に触れない範囲内であれ）議論するのは非常に有益なことである。これは、各ロボットメーカーが、ユーザー企業のニーズの一般的内容を知り、その上でロボットメーカー独自の戦略を考えることへの助けとなるであろう。また、こうした業界団体の尽力により、「2.4 ワークロイドの社会実装に向けた取り組み」で触れたような教育・政策・制度面での環境作りの進展が期待される。

ワークロイド産業の発展を考えるためには、WUA のような業界団体レベルでの取り組みに加え、各ロボット企業の成長戦略に目を向ける必要がある。これまではワークロイドを含むサービスロボット業界全体が未成熟な段階で、多様な企業・研究機関が得意技術を使ってとりあえず製品開発・発表するまでが主で、ビジネスとしての採算性までは十分考慮されていなかった。このことは、サービスロボット業界で、世間の注目を浴び多額の資金調達に成功している企業でも、大半は経営的に成功しているとは言い難いことをみれば理解できよう。⁸ テムザックも 2011 年 12 月期で、創業 12 年目にして初の黒字決算を達成したが、その後直ぐに黒字基調が定着したわけではない（岸本，2019）。開発受託に伴う収入により、ようやくここ数年で経営安定化の目途が立ち、幾つかの製品で、これから本格的に量産・量販に進もうとしている段階である。

本格的に量産・量販に進むには、単純にロボット単体を売りさばくようなやり方ではなく、より戦略的なビジネスモデルの構築が必要である。テムザックの場合、①医療シミュレーター（デンタロイド，ペディアロイド）に関する医療教育・実習のビジネス化（メディカルシティ），②自動駆けつけ介護ロボット（ソワン）に関する活動量見守りシステム全体の販売（リースで人件費より安価），③次世代スマートモビリティ（ロデム）に関するシティモビリティとしての事業化（シェアリング，観光資源の開発），④天井石膏ボード貼り建築施工ロボット（Carry & Shot）に関する群型ロボット実用化とユニットとしての提供，⑤レスキューロボット（援童）に関する災害救助訓練施設の構築（ディザスターシティ），である。今後これらの構想が本格的に展開することが期待される。そして、こうしたスケールの大きいビジネスモデルを構想し、関連分野の様々な企業・団体と連合して、これを事業として実際に動かしていく「戦略プロデューサー」が必要であることも指摘された。

⁸ 例えば、装着型サイボーグ HAL で有名なサイバーダイン（CYBERDYNE）は、第 13 期～第 17 期の決算（2017 年～2021 年の各年 3 月が決算年月）で、毎年、6.6 億円～10.4 億円の間で営業損益を出している（CYBERDYNE，2021，p. 1）。また、家庭用ロボット LOVOT で知られる GROOVE-X は、2020 年 12 月 9 日時点で累計 124 億円の資金調達に成功しているが（<https://www.businessinsider.jp/post-225811> 2022 年 3 月 14 日閲覧），2021 年 3 月 22 日発表の第 5 期決算では、28.7 億円の営業損益を出している（<https://catr.jp/settlements/f2a67/192036> 2022 年 3 月 14 日閲覧）。

最後に強調するなら、国の支援も重要である。安易に国に頼るべきでないことは言うまでもないが、ワークロイド産業のようなこれから興る、そして戦略的に重要な産業の場合、政府が開発費を補助し(中途半端な形ではなく、利益も含む開発費の100%をカバーするもの)、その成果物の製品を政府が購買し実際に使用してその有用性を実証・宣伝する、さらに輸出可能なものはその促進策を講じるといった支援が望まれる。とりわけ、レスキューロボットのような万一に備えるもので、開発費が嵩み、実証実験も容易に出来ないようなものは、政府・公的機関のコミットがなければ発展は困難であろう。テムザックのディザスターシティの構想が、そうした政府のコミットの呼び水になることが期待される。

参考文献

<日本語>

岸本千佳司 (2019) 「サービスロボット産業における中小企業のオープンイノベーション：業界先駆者 テムザック (tmsuk) 社の事例研究」『赤門マネジメント・レビュー』18(3) (2019年6月号), pp. 73-112

CYBERDYNE (2021) 「有価証券報告書(事業年度 自2020年4月1日 至2021年3月31日) (https://www.cyberdyne.jp/wp_uploads/2021/06/20210625_fr.pdf 2022年3月14日閲覧)

産業タイムズ社 (2021) 『2021-2022 ロボット産業 最前線：産業，サービス，医療用ロボット410社・団体の最新動向』産業タイムズ社 (2021年7月19日発行)

高西淳夫 (2016) 「ロボット工学における国際共同研究の背景について：ヒューマノイド研究における事例的考察」『研究 技術 計画』31(2), pp. 159-173

高本陽一 (2021) 「通信を介したロボット同士の協働作業の事例について：天井貼りロボット」ワークロイド研究会(ワークロイド・ユーズ協会主催)2021年10月11日のセミナー報告 (https://workroid.com/portfolio/20211014/ 2022年1月20日閲覧)

テムザック (2021) テムザック社紹介資料 (2021年10月19日取得)

福澤秀典 (2021) 「ロボット・フレンドリーな環境整備について」ワークロイド研究会(ワークロイド・ユーズ協会主催)2021年8月17日のセミナー報告(福澤氏の肩書は、「経済産業省製造産業局ロボット政策室室長補佐」) (https://workroid.com/portfolio/20210817/ 2022年1月10日閲覧)

藤本隆宏, 朴英元 (2013) 「人工物の複雑化と設計プロセス：エレキ・メカ・ソフト設計の統合化へ」藤本隆宏 編『「人工物」複雑化の時代：設計立国日本の産業競争力』(6章), 有斐閣

眞砂英樹 (2021) 「米国ロボットテストフィールドの活用状況調査報告」 (https://www.mstc.or.jp/topics/uploads/2021/02/3d181d82113b9b35cf17fdc3f64a7fef54006ae6.pdf 2022年3月13日閲覧)

米田隆志, 太田玲央, 三好扶 (2011) 「マスタースレーブ技術を用いた装具開発」『日本義肢装具学会誌』27(2), pp. 93-96

WUA (2020) 『働くロボット(ワークロイド)普及をユーザーから考える会』へのお誘い, ワークロイド・ユーズ協会の創設に向けた説明・会員募集の資料(筆者は2020年6月22日

に取得した)

<英語>

IFR (International Federation of Robotics) (2021), WR 2021 service robots-sources & methods
(<https://ifr.org/free-downloads/> 2022年2月11日閲覧)

Utterback, J. M. (1994), *Mastering the dynamics of innovation*. Boston, MA: Harvard Business School Press. [邦訳, J. M. アッターバック (1998) 『イノベーションダイナミクス：事例から学ぶ技術戦略』 大津正和, 小川進 監訳. 有斐閣]

<面談調査記録> (コード, 面談対象, 実施日)

tmsuk-2016 テムザックの高本陽一表取締役社長他 2016年6月23日

tmsuk-2018 テムザックの高本陽一表取締役社長 2018年12月5日

tmsuk-2021 テムザックの高本陽一代表取締役議長他 2021年10月19日

tmsuk-2022 テムザックの高本陽一表取締役議長他 2022年2月24日