

高齢者・障がい者の自立歩行を支援する 半自動引き戸装置の開発

田中 洋征, 野田 尚昭

研究の背景

世界一の超高齢化社会になり介護を必要とする高齢者・障がい者が急速に増えてきている。

総務省の発表したデータから2025年の後期高齢者数を推定すると、団塊世代800万人が75歳に達し、国民の4人に1人が後期高齢者になる。その数ほぼ2,200万人で超高齢社会が定着すると言われている¹⁾。

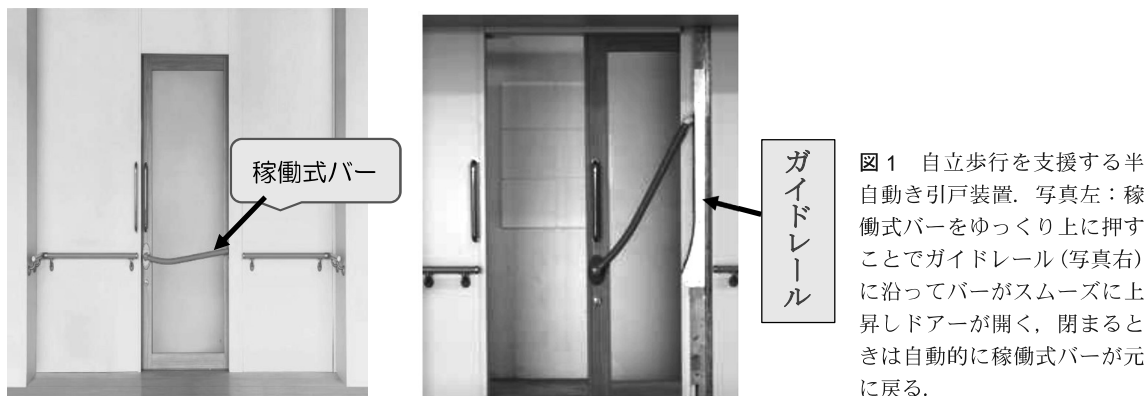
要介護、要支援認定者は2000年は218万人で2021年は666万人と開始以来3倍に増えている。認知症患者は2025年で320万人に達すると予測されている²⁾。

掴まり立ちできれば、手摺を伝って自立歩行が可能であり、介護者に頼ることなく、入浴やトイレ、あるいは人との交流のため部屋から部屋への移動は自力で行きたいと強く願うものである。

他者の手を借り車椅子に乗せられての移動はできれば避けたい、特に排せつは、世話を受けるこ

とが多い分迷惑をかける。掴まり立ちでき手摺があれば、自力でトイレに行き自力で処置したい、人間の尊厳にかかわる行為である。

ケイ・プロダクツ株の久保社長は、平成17年に建築に関する各種設計・施工、建設事業コンサルタント等の事業でベンチャー企業を立ち上げて間もないころ、父親の1年間にわたる闘病生活の介護経験で、掴まり立ちで歩行する高齢者、障がい者は、手摺がないところでは先に進めないため、自力で移動できないこと。既存の引戸装置は、手摺りが枠に干渉し開けられないことから、部屋から部屋への移動に自力歩行できないことを痛感した。「部屋」から「部屋」への移動が可能であれば、入浴、トイレは1人で行けるし、介護者の負担も減るばかりでなく介護そのものが不要になるのでないかとの思いをさせ「引き戸装置」の開発を決意した³⁾。3年間の試行錯誤の末に実用性がある世界初の「半自動引き戸装置」を実現した(図1)。しかし、完成はまだほど遠い状態であること、メカニズムの優秀性とさらなる改良および安全性の検証



をしたいたの思いから、筆者を頼って大学に相談にこられた。社長の熱い気持ちとこれからの超高齢社会に対してなくてはならない開発であるとの思いから、一緒にやりましょうと協力することを強く約束した。しかし、産学連携で開発資金をいただくのは困難を極め5回連続、外部資金の獲得に失敗した。そして6回目に経済産業省の新連携補助事業にやっと採択された。これは資金がない個人企業が開発から事業化まで大学と苦楽をともにしながら10年以上を要した苦闘と努力の事業である。

審査委員から認められなかった要因の第一は理解不足であることである。審査員は経済的に豊かで、元気であり、歩くことに不自由しないことから、ある審査委員は「たかが手摺ではないか」車いすで十分であると言われた。多くの審査委員も同じような感覚であり必要性を理解してもらえなかったことに尽きる。

自社開発がかなり進んだころ、モニターをお願いした80歳代の女性は、元気で1人歩きができるため、最初は迷惑だなーと想ったそうである。しかし、転んで骨折し、1人では歩きにくくなると、お風呂に入ることやトイレに行くことも嫁の世話に頼ることに悩むようになったが、引き戸装置を付けたことに元気づけられたとともに、自力で歩けるようにリハビリに励み1年後にはほぼ回復できたと喜びと感謝の言葉を述べられている。さらに5回連続不採択の原因は、「なくてはならないもの」との認識より、「なくてもかまわないもの」との審査委員の認識不足である。これに反し、使ってくれた障がい者の全員が1日でも早く実用化してほしいと嘆願されるが、開発資金はない、採択される見込みも暗い。さらに、実用するには重要部品である稼働式パーハンドル(パイプ)等の量産化が必要である。現在は試作品であるため、手作りによる一品製作でよいが、障がい者・高齢者の多くの方々に使ってもらうためには量産化が必要であるが協力してくれる企業の目途もなくお先真っ暗であった。社長は、開発の継続性と事業化が見込めないため、袋小路に追い込まれ断念を日

常的に考えるようになった。

筆者はこの環境を脱出するため、福岡県の塚本前商工部長(当時福岡県科学技術振興財団専務)を訪ね、住宅建材メーカーである朝倉市の会社を紹介してもらった。さらに、福岡銀行が産学金連携で本学にアプローチをしてきたので、この事業を紹介し、飯塚市で自動車向けのパイプ加工の専門企業の会社ワイ・ビー・エム(YBM)を紹介してくれた。朝倉の会社もYBMも新規事業を模索しており、社長の提案を好意的に受け止めくれ協力してくれることになり、事業が再び動き出した。

それと同時に審査委員長に事前に理解してもらうことがなによりも重要と決意した。筆者らは、これまで国の助成等を求めて申請書を何十回と提出してきたので、いろいろな審査委員はかなり知っており、顔見知りも多い。提出6カ月ほど前、採択されるためのご指導をお願いしたいを口実に、社長を連れて審査委員長の会社を訪問し、説明する機会を得た。これからの超高齢化社会では、障がい者や高齢者等の健康弱者が自力で歩き回れ、安全で使いやすいインフラ設備が必要であることを力説した。幸い、この会社には、技術に明るい専門家がおられこちらの説明を聞いて進言をもらえる幸運もあり、理解を得て6年目に経済産業省のH26年度中小企業・小規模事業者促進支援事業(新連携)でやっと認められた。社長の喜ぶ姿がいまも印象的である。

現状の引き戸装置の問題点

障がい者や高齢者等の健康弱者用の住宅や介護施設、病院等では図2示すように、介護者なしでもつかまり歩きができるように、廊下全長にわたり手摺が装着されている。しかし、廊下の途中で引き戸がある場合、引き戸のあわされる面に手摺を装着すると手摺りが枠に干渉し引き戸が開かないので引き戸の開閉ができなくなるため、通常手摺は装着されていない。このため、手摺なしでの歩行を要する箇所があるため、健康弱者は自力でトイレや浴室に行くことが困難であるし、歩行動



図2 健康弱者用の介護施設、廊下全長にわたり手摺が装着。しかし、廊下の途中に出入口があり引き戸が設置されている場合、歩行動線が途切れ伝え歩きが困難である。

線が途切れることから全長をつかまり歩きができないという課題がある。これは、安全性と強度を併せ持つ手摺付き引き戸装置が取り付けられないためであるが、安全で機能的な引き戸製品が社会にないことに尽きる。

図3は、これまでに開発されている類似製品の一例を示す。

図3は、回転式手摺付き引き戸である。

これは回転棒を引き戸に取り付けたものである。引き戸を閉めたときは、バーを水平にして手摺として使用する。戸を開ける時はバーを90度回転させ垂直に固定する。問題点は手摺に体重をかけると引き戸がレールから外れ倒れる恐れがあることである。また、水平から垂直へとバーを安全に回転させることが困難である。アイデア商品ではあるが、安全性と機能性に課題があり、ひとりでは安心して使用できないという欠点がある。

図4は、跳ね上げ式引き戸用手摺である。

専用のバー取り付けスタンドを採用し、バーを手で跳ね上げて開閉する方式である。強度的には配慮されているが、この手摺の問題点は安全性が

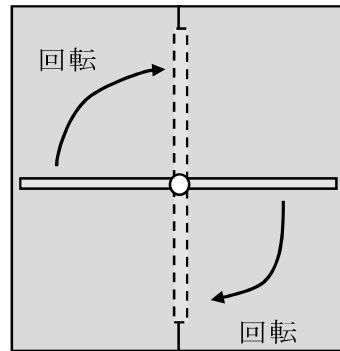


図3 類似品。回転式手摺付き引き戸。



図4 類似品。跳ね上げ式引き戸用手摺。

基本的に考慮されておらず以下の欠点がある。

- ◆跳ね上げるため使用者の姿勢が不安定になるし速度の制御がないので常に転倒の危険性がある。
- ◆構造的に、建物構造によっては天井に固定できない難点がある(使用者共倒壊の危険性がある)。
- ◆長期の使用に耐える強度が考慮されていないため破損する可能性が高い。

半自動引き戸装置の課題解決 メカニズム

開発する商品は、高齢者、障がい者が自力で容易に部屋から部屋を移動でき、排せつや入浴等を介護に頼ることなく自立生活できるように開発するもので、次のようなメカニズムを有している。

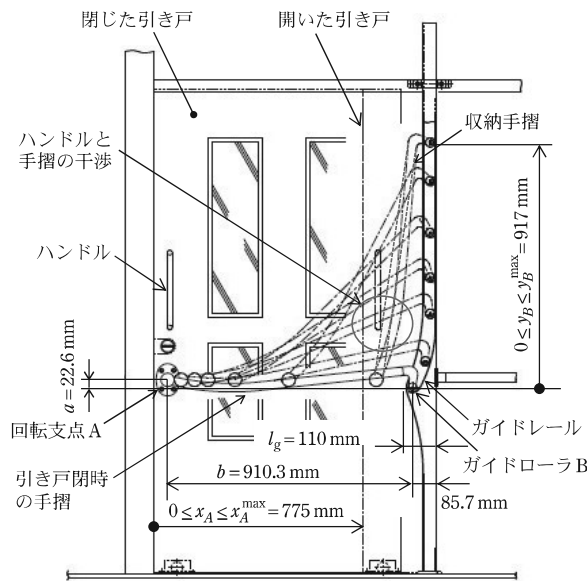


図5 開発した半自動式引き戸装置(手摺)の軌跡図. 半自動式引き戸装置は, 引き戸, 収納手摺, 回転支点A, 可動式バー端部のガイドローラBとその転走面であるガイドレールで構成されている. 引き戸を閉じた状態で手摺が水平状態. 引き戸を開くと手摺は上図に示す軌跡のようにAを軸にしてガイドローラBが, ガイドレールスタンド内部の転走面に沿ってスムーズに上方に移動する.

- ①手摺をつけても引き戸の開閉ができるように手摺は稼働式バーとガイドレールに別れているが一体的に動作するシステムである. このような一体式の装置は日本初である.
- ②引き戸を開くには稼働式バーを, 右に押しすと回転支点を軸としてガイドレールに沿って上方に移動する.
押し力は高齢者・障がい者の筋力の衰えを考慮して3 kg以下でスムーズに上昇するようにした. 稼働式バーハンドルは手摺の役を兼ねており, これも日本初である.
- ③引き戸を閉じる時は, 自動でゆっくりと稼働式バーが下がる. 引き戸の開閉の動きは, 上がる時は手動, 降りる時は自動であるためメカニズムとして半自動である.
- ④高齢者・障がい者が長期に使用するため故障しないように野田研究室で20万回の耐久試験を実施し^{4)~8)}, 壊れないことを確認している.

図5に半自動引き戸装置の稼働式バーの動作の軌跡図を示す.

半自動引き戸装置は稼働式バー(収納式手摺), 回転支点A, 稼働式バー端部のガイドローラBとその転走面であるガイドレールで構成されている. 引き戸を閉じた状態では稼働式バーが水平状態に

なり, 手摺としての機能を果たす. 引き戸を開く動きで, 稼働式バーは図5に示す軌跡のように回転支点Aを軸にして, 手摺端部のガイドローラBが, ガイドレールスタンド内部の転走面を上方へスムーズに移動する.

引き戸を閉じる動きは, 稼働式バーがガイドレール内部の転走面を伝い, 下方へ自動的に閉まる. 開ける時は弱い力で, 閉じる時は自動的に閉まる半自動式がこのシステムの最大の特長である.

開発者の久保社長は, 筋力に劣えがある障がい者が容易に開閉できるように, 軽量化と稼働式バーの静止角度・形状をどのようにするかに知恵を絞り, ガイドレールを含めた実験を繰り返し, 現在の状態に落ち着いたと後に説明してくれた.

また, 人間工学の観点から, 高齢者が持ちやすい手摺の条件が, 高さ710~800 mmであることと, 手摺棒が円形断面であり, その直径が32~36 mmである⁹⁾こと, および引き戸の開閉操作をしやすい持ち手が, バーハンドルであることを明らかにした¹⁰⁾¹¹⁾. その条件下での設計過程において, 引き戸全開時に直線手摺棒とバーハンドルの干渉が発生した. そこで, 独創的な曲線形手摺棒を考案して干渉を解決し, 現在の形状となった.

さらに, 上記稼働式バーの安全性を検証するた

め、野田研究室での有限要素法解析の検討の結果、手摺を取り付けた金具周辺部は、いずれも耐久限度線の範囲内にあり、強度的に安全であることを確認した。さらに、20万回繰返荷重負荷による疲労試験を行った。その結果、金具取付下部の板材

の表面と裏面の両者のひずみとも、繰返し回数とともに大きな変化は認められず、大きな損傷は生じていないことを確認した^{4)~7)}。

次に、引き戸の開閉寿命の判定として、全閉状態から全開状態までの1往復を1回として、2×



図6 引き戸開閉試験装置の開閉状態。20万回繰返し開閉した結果、ひずみやき裂の発生は認められなかった。

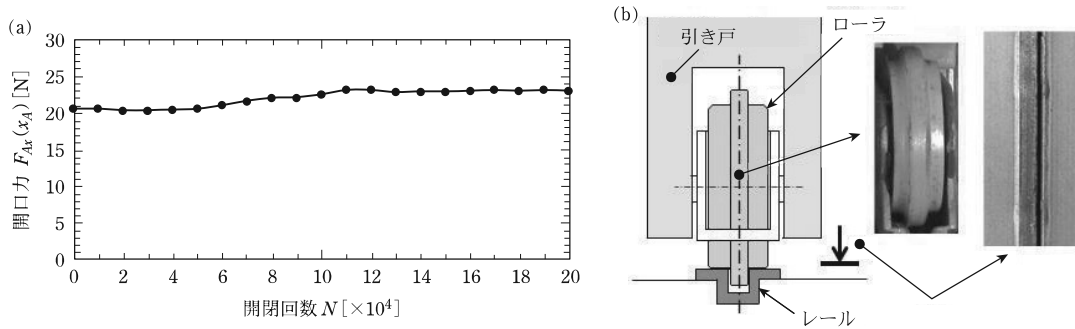


図7 (a) 20万回繰返し開閉試験の引き戸開口力の推移。開口力は、20.5~23 Nで推移し、大きな変化なし。(b) 試験後の引き戸レールとローラ。目視では損傷は認められない。

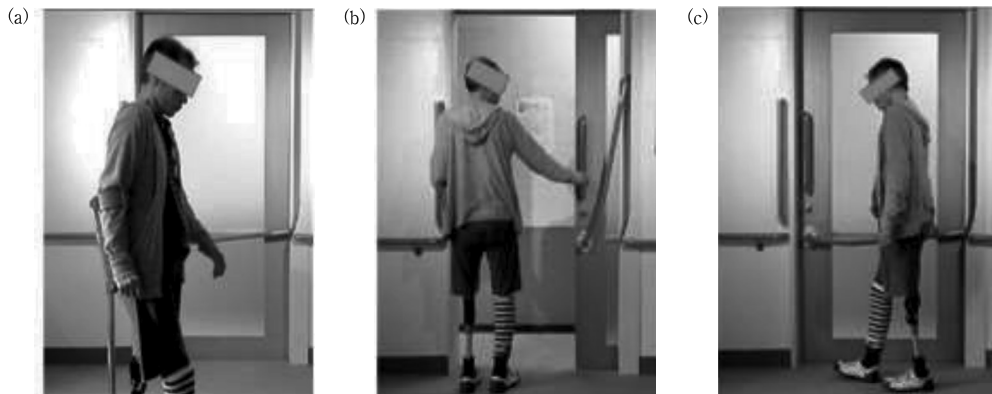


図8 片足に障がいを持つ男性高齢者の歩行状況。(a) 従来の杖による歩行、(b) 引き戸開口操作、(c) 手摺伝い歩き。

10⁵回繰り返し、引き戸のレールとローラーの損傷がないことを野田研究室において目視確認した。

図6は、引き戸線返開閉試験状態を示す。

図7(a)は20万回繰り返し開閉試験した引き戸開口力の推移試験結果を示す。

図7(a)に示すように引き戸開口力は20.5N~23Nで推移し、大きな変化はなかった。

図7(b)ではガイドレールの摩耗変形異常およびローラー異常摩耗はなく、試験作動中の異音もなかった。この試験でJIS規定(JISA1513 建具の性能試験方法通則¹²⁾およびJISA1530 建具の開閉繰り返し試験方法¹³⁾を満足した。

図8は、左足大腿骨以下に義足を装着した男性高齢者がショールームで行ったモニタリングである。図8に示すように、この男性は通常の歩行はロフトランド杖を使用している。図8(b)、(c)に男性が稼働式バーを使用しているところを示す。この男性は稼働式バー使用後の感想から、障がい者が従来の手摺の途切れた引き戸のところを杖なしで歩くことの大変さと、転倒して骨折することへの恐怖を語っていたが、開発された半自動引き戸装置は転倒への恐怖心もなく自立歩行ができることを喜んでいた。

超高齢化社会の課題

国は増え続ける高齢者・障がい者の福祉政策として、これまでの介護の方針では、増大する社会

保障費を賄えずいずれ破たんすることを懸念し、平成23年度より社会保障費削減へ舵をきった。すなわち、在宅介護へ「自立可能な住まいの確保」等の政策を新たに打ち出し、介護なしの自立生活を推進しだした。言い換えれば「健康寿命」の延伸を推進せざるを得なくなっている。

寝たきりとなれば完全介護が必要となる。そうならないために、寝たきりにならないための対策が求められる。その意味においても自立歩行を支援する半自動引き戸装置の開発は極めて有効であると思っている。

自立歩行が重要である理由と効果

自立歩行の維持は、介助される本人のためだけでなく、介助する側の経済的、精神的、肉体的負担を軽減できる。例えば、介助・介護の長期化による老人虐待や老々介護を苦にした自殺の防止、高齢者の孤独死を減少させる。

自立歩行の維持で自立生活を維持できれば、認知症進行の抑制に寄与する。寝たきり老人の減少と増え続ける高齢者医療費の抑制に基づき福祉財政の負担の軽減に寄与する。

アンケート調査の実施

久保社長は、開発中の引き戸付き手摺り装置の必要性を知りたいとの思いから2013年、東京での

表1 モニター等医療関係者アンケート調査結果。

	ご意見の内容
モニター	自分ひとりで家の中を動けるようになったので家族に気を使わなくてよくなる。歩けるようになるので外出できるようになる。
モニター家族	1人で動いてくれるので介護する負担がへった。祖母が元気になり、家の中が明るくなった。
ハウスメーカー	高齢者・障がい者施設運営事業を積極的に展開していくので採用したい。トイレや風呂場には手摺がついているので、開口部のところに採用したい。リホームでも介護に対する要望が増えてきた。販売時期を知りたい。
障がい者	これがあれば、家族に迷惑をかけなくて済む。室内の移動に不安定がなくなり、引きこもりが解消できる。早く実現してほしい。今すぐ必要です。
施設関係者	転倒防止や体力(筋力)低下予防防止など、残存機能を保持でき、介護予防効果がある。室内・室外両方に設置できるようにしてほしい。他の健材、フロア、腰壁等とセットでPRしてほしい。

医療介護機器展 HOSPEX 2013 に出展し医療関係者のみではなく多くの来場者にアンケート調査を実施している。

表 1 にアンケートをしてもらった結果を示す。

回答者の 87% は引き戸装置の開発は意義があり必要性を感じると回答し、医療関係者は 100% が必要性を回答してくれた。

また市場の声 (モニターを実施) は自分 1 人で移動できるようになるので家族に気を使わなくて済む。家族の介護する負担が減るとともに外出できるようになるのでは、と極めて高い評価してくれる声があった。さらに販売の時期についての問い合わせが住宅大手メーカー数社からあり、高いニーズがあることに開発の必要性を改めて感じるとともに自信を深めた。さらに、半自動引き戸装置の開発にあたり、共同事業社である YBM が本腰をいれて協力をしてくれ、いくつかの技術を共同開発したことは大きな励みになったと久保社長は評価している。

2021 年にこの事業の初期に手伝ってくれた齊藤金次郎氏が野田教授指導のもと学位論文をとることができた⁸⁾。その過程で発表した論文^{4)~7)}が福祉事業に進出している大手運輸会社の目に留まり、久保社長のもとに問い合わせがきた。その後はコロナ下で話が中断してそのままになっているが、



図 9 独居老人用にとりつけられた半自動引き戸装置。

事業化は 2021 年に高齢者で一人暮らしの老人用に需要があり、この装置の取り付けが始まるなどや々と動き出してきている (図 9)。

終わりに

人生 100 年時代の長寿社会が始まっている。筆者の一人は、80 歳になった。昨年、ある航空会社より、100 歳まで月 1,000 円の掛け金で死亡時に 150 万円を支払う保険に加入しませんか、と案内がきた。

このような保険がはじまったことで、人生 100 年時代の長寿社会を実感したが、そうなれば、孫 40~50 歳、両親 70~80 歳代、祖父母 100 歳代で、孫が両親、祖父母たちの面倒を見る時代がくるのか、それはまだ想像の世界であるが、健康寿命の持続がキーワードである。改めて歩行機能の維持が人間の尊厳の維持につながると信じている。

健康を保つ秘訣は、前号で述べたように血管を老化させないことであることから、筆者らは開発した人工高濃度炭酸泉での入浴と山歩きを実行している。願わくは 100 歳まで、人に頼ることなく自立した生活をおくりたいと健康の持続を目指している。

参考文献

- 1) 総務省平成 28 年版 高齢社会白書(全体版)、人口及び割合の推移。
- 2) 厚生労働省、「介護保険事業状況」報告、月報(暫定版、令和 3 年 2 月分)。
- 3) 金憲経、吉田英世、鈴木隆雄、石崎達郎：高齢者の転倒関連恐怖感と身体機能—転倒外来受診者について—、日本老年医学会雑誌、**38** (6) (2001)、805。
- 4) 齊藤金次郎、野田尚昭、佐野義一、高瀬康、村井克成、王鐸鋒、李蘇瓊、劉瀟、田中洋征、久保嘉孝：健康弱者の自立歩行を支援する手動収納式引き戸装置の開発(第 1 報、引き戸を開ける力のシミュレーション)、設計工学、**52** (8) (2017)、503-512。
- 5) 齊藤金次郎、野田尚昭、佐野義一、高瀬康、李蘇瓊、王鐸鋒、村井克成、劉瀟、田中洋征、久保嘉孝：健康弱者の自立歩行を支援する手動収納式引き戸装置の開発(第 2 報、収納式引き戸の強度解析と実験的検討)、設計工学、**54** (12) (2019)、843-854。

- 6) 齊藤金次郎, 野田尚昭, 佐野義一, 高瀬康: 機械構造設計における木質材料強度の考え方, 設計工学, **55** (10) (2020), 607-613.
- 7) K. Saitou, N.-A. Noda, Y. Sano, Y. Takase, K. Murai, Z. Wang, S. Li, X. Liu, H. Tanaka and Y. Kubo: Semi-automatic retractable handrail utilizing opening/closing movement of sliding door supporting elderly people to walk independently, *Accessibility and Design for All*, **11** (1) (2021), 1-19.
- 8) 齊藤金次郎: 健康弱者の自立歩行を支援する手摺収納式引き戸装置の強度設計と製品開発, 九州工業大学博士論文, (2021).
- 9) 田中眞二, 赤澤堅造, 布田健, 佐藤克志: 高齢者の使用を考慮した引戸の適正な開閉力と操作部形状に関する基礎的検討, 生体医工学シンポジウム 2004 発表 (2004), 147.
- 10) 2001 年度高齢者対応基盤整備計画研究開発 第 2 編 データベース整備 (動態・視聴覚特性), 人間生活工学センター, 210-212, 222-229, 32-68.
- 11) 八高隆雄, 山本圭治郎, 小山昌洋, 兵頭和人: 円筒物体把握における握りやすさの感性評価, 日本機械学会論文集 C 編, **62** (602) (1996), 3999-4004.
- 12) JISA1513, 建具の性能試験方法通則, 日本規格協会, 1996.
- 13) JISA1530, 建具の開閉繰り返し試験方法, 日本規格協会, 2014.

たなか・ひろゆき TANAKA Hiroyuki

1995 福岡県工業技術センターインテリア研究所長, 2001 九州工業大学地域共同研究センター次長, 2004 地域共同研究センター長, 2005 文部科学省派遣産学連携コーディネータ, 2008 九州工業大学および福岡大学客員教授, この間コーディネーターとして, 外部資金を主に経済産業省等国から 20 億円ほど獲得している。

のだ・なおあき NODA Nao-Aki

1984 九州大学大学院工学研究科機械工学専攻博士課程修了, 九州工業大学工学部講師・助教授・教授を経て, 2022.4 より名誉教授, 焼嵌め式ローラや特殊ボルト等の産学連携に関する研究に従事, 日本設計工学会論文賞受賞, 日本機械学会フェロー, 自動車技術会フェロー, 2019-2021 日本材料学会九州支部長。