

## PBL 授業を通じた障害者支援機器の開発：東工大機械科学科の取り組み

Development of Disability Support Machine through PBL Course:  
Challenge by Tokyo Tech Mechanical Engineering and Science Department

○ 八木 透（東京工業大学）

Tohru YAGI, Tokyo Institute of Technology

**Abstract:** Project-based learning (PBL) has gained lots of attention. Department. of Mechanical Engineering and Science, Tokyo Institute of Technology, Japan, has offered PBL course to junior students for years. This is a group-based project to solve problems in real society, which may have various solutions. On the basis of a popular design methodology “Design Thinking”, students are supposed to repeat the following process to develop what the targeted users really need; 1) to research users and environments with interview and field-research, 2) to build concepts with brain-storming or group discussion, 3) to build 3D mockups and evaluate the concept, and 4) to find problems of the proposed idea and improve it. In 2015, a student group has interviewed a spinal code injury person, defined a problem in his daily life, and developed a wheel cleaner for an electric wheelchair. This presentation explains its pedagogy of this course and development process of the disability support products.

**Key Words:** PBL, Design Thinking, Prototyping, Wheelchair User Support

## 1. はじめに

東京工業大学工学部機械科学科にて 2015 年度まで開講されていた学部 3 年次の授業「独創機械設計プロジェクト第一（以後，第一）」「同第二（以後，第二）」は，機械科学科の名物授業の一つである。この授業は，様々な答えが考えられる実社会の問題（open-ended question）を解決する機械を学生グループが立案・設計・製作するという PBL（project-based learning）授業である（教育改革に伴い 2016 年度からは内容を一部変更し，第一は「機械システムプロジェクト」，第二は「機械システム開発プロジェクト」という名称で授業を展開している）<sup>(1)</sup>。

この PBL 授業では，ユーザの視点からみて「使いたい機械」を開発するために，近年注目されているデザイン思考（Design Thinking）と呼ばれる設計手法を用いて，ユーザを開発の中心に置いた「人間中心設計」を実践する<sup>(2)</sup>。デザイン思考では，ユーザや使われる現場についての調査を行い，ブレインストーミング等でアイデアを出すとともに，アイデアを形にしたプロトタイプを製作して評価し，問題点を見つけて改良するプロセスを繰り返す。

本授業では単にデザイン思考の実践にとどまらず，2 年次に学習した機械工学の基礎科目を実践的に応用する目的で，機械設計やメカトロニクスの技術についてもハンズオンワークとプロトタイプ製作を通じて学ぶ。つまり構想案の提案だけに留まらず，設計・製図・加工を中心とする機械設計に関する工学の専門知識を活用し，ものを作る力やプロジェクトを推進する力など総合的な設計（デザイン）能力を涵養するというのが本授業の目的である。さらに，決められた期限に立案・設計・製作を行うプロジェクトマネジメント能力を養うとともに，特許取得に関わる知識を修得させ，優れた内容のものについてはビジネス展開を視野に入れて出願も行う。このように，社会にとって有益でイノベーションを生み出す真の「ものづくり」を実践可能な創造的エンジニアを育成すべく，本 PBL 授業を展開している。

2015 年度は「教育現場を便利にする機械」「町工場を便利にする機械」「車椅子ユーザを便利にする機械」の 3 つを大テーマとした。そのうち本稿では「車椅子～」担当の学生グループ（以後，車椅子グループ）が開発した「電動車

椅子のタイヤ洗浄機」を例に，本授業での取り組みについて報告する。なお 2015 年度の授業は（50 音順に），赤坂大樹，因幡和晃，大島修造，岡村哲至，奥野喜裕，木村 仁，坂本 啓，武田行生，高山俊男，田中真二，野崎智洋，伏信一慶，松浦大輔，宮崎祐介，セリーヌ ムージュノ，松村茂樹，八木 透，山浦 弘，が担当した。本稿は代表して八木が執筆する。

## 2. 独創機械設計プロジェクト第一・第二

## 2.1 授業スケジュール

本授業は，アイデアの創発を行う第一（前期 4 月開講，15 週間）と，製品を実現する第二（後期 10 月開講，15 週間）から構成されている。

第一では，1～9 週目に構想立案を，10～14 週目にプロトタイピングを行う（Table 1）。また構想立案の初期段階，構想案決定前，そしてプロトタイピング製作中に，それぞれ最低 1 回のユーザーインタビューを行い，ユーザとの密接なコミュニケーションを通じてユーザが本当に欲している製品の開発を目指す（理想は，構想立案・プロトタイピング・ユーザ評価を何度も繰り返すことだが，授業日程の制約上，複数の繰り返しは実現できていない）。

特にプロトタイピング期間中のユーザーインタビューは重要で，できあがったモックアップを使ったデモンストラーションを行うことでユーザがコメントしやすくなり，より理想の製品に近づくことができる。このように構想立案段階でプロトタイプ製作を積極的に取り入れることで，アイデア創発の原理を学ぶとともに，ディスカッションの中で手を動かしながらユーザとイメージを共有しつつ，アイデア創発を行わせている。

なお構想立案の空き時間には，3D-CAD (Solidworks)，プロトタイピングツール（レーザー加工機，3D プリンタ，NC フライス），マイコン (Arduino) などの使い方の講習を受ける。この講習を通じて，学生たちはプロトタイプ製作に最低限必要な工作技術を身につける。そして 2 年次の講義で学習した内容（機構学，材料力学）をよりいっそう定着させるため，10～14 週目のプロトタイピング期間中にミニ講義を実施している。ここでは，てこ・滑車・歯車・軸受・軸継手・ばね・クランク・カム・リンク機構など機械

Table 1 Time schedule of PBL course “Mechanical Design Projects I”

| Week | Lecture (30–60 min)  | Lab (120–150 min)  | Inteview |
|------|--|--|----------|
| 1    | Group formation, introducing projects, design note, and team building activity | Concept building (3 ideas/individual)<br>Machining training (Band-saw, Drilling machine) | #1       |
| 2    | Ethnographical research and user-observation in real life                      | Concept building (3 ideas/individual)<br>Machining training (Band-saw, Drilling machine) |          |
| 3    | Conceptual research centered on user experience                                | Concept narrowing (3 ideas/group)  |          |
| 4    | Sketching (sketches, storyboards)  | Sketching (sketches, storyboards)  |          |
| 5    | Three idea presentation (Poster)   | Quick-and-dirty prototyping and simple user test   | #2       |
|      | Prototyping (quick-and-dirty prototyping, user experience prototyping)         |  |          |
| 6    | User tests (wizard-of-oz, Kansei evaluation), Gantt chart                      | User test using a prototype  |          |
| 7    | SolidWorks session   |  |          |
| 8    | Prototyping tool session   |  | #3       |
| 9    | Final concept presentation   |  |          |
| 10   | Introduction to mechanisms and machines  | Prototyping using woods/plastics, and demonstrating to instructors                       |          |
| 11   | Materials, fastening and joining parts   |  |          |
| 12   | Motors   |  |          |
| 13   | Bearings, couplers, gears, screws, and springs                                 |  |          |
| 14   | Spec sheet and design review   |  |          |
| 15   | Logistics and final presentation   |  |          |

部品の使い方，ネジ・ボルト・ピン接着・リベットなどの接着の技術，DCモータ・RCサーボモータの制御技術など，他の授業（主に講義）で学習した内容を実践の場でどう使うかをハンズオンワークを通じて体験する。

後期開講の第二は，第一でまとめた構想案をもとに，基本設計・詳細設計・製作・試験を行う。ここでは手を動かすことに加えて，グループでのディスカッションやフィールドワークを含む調査研究を通じて製品案を深化させるとともに，3回のデザインレビュー（DR）において設計図面への指導および助言を行っている。特に，設計から製作へ移行する第2回目のDRは重要で，この段階で各グループは，①計画図，②組立図，③部品図，④部品リスト，⑤計算書，⑥購入品リスト，⑦コスト見積表，⑧班員の役割分担表，⑨スケジュール表を提出して，許可を得なければ製作へ進むことができない。また2月初旬の最終発表会では，インタビューでお世話になったユーザを招待して，製作した作品のデモンストレーションを交えて発表を行う。

## 2.2 グループ編成・メンター制度・国際化

第一・第二とも，各グループは8～10名の学生で構成されている。成績優秀者，女子学生，留学生，およびものづくり系のサークルに所属している学生が特定のグループに偏らないよう，第一の準備期間中に学生を割り振る。このグループ編成により，分担・協力しなければプロジェクトが進まないような環境を作る。また第一の初回授業に行うグループメンバー発表の直後に，「他己紹介」や「マシュマロ・チャレンジ」などのチームビルディングゲームを行い，メンバー間のコミュニケーションを円滑にする活動も実施している。

各グループには1グループあたり2～3名の教員がメンターとなり，授業とは別に週1回15～30分程度の定例ミーティングを実施し，各グループへの助言・相談を行っている。そして授業ではほぼ毎週，何らかの課題を個々の学生に課し，回答を記載したデザインノートに授業前に提出させている。このノートでも，デザイン思考のテクニックの理解度および各グループのプロジェクトの進捗度合いをメンターがチェックしている。なおデザインノートは個人の成績評価の重要な資料であること，特許出願のときの重要な資

料となること，社会人になってもノートによる業務管理は大切であることを第一の初回授業で説明し，ノートの書き方についても指導している。

さらに本授業では，1) 各種国際プログラムを通じて当学科担当教員の研究室が受け入れた各国からの短期留学生の授業への参加，2) 最優秀グループを同窓会等の支援で海外に派遣して国際会議等で発表・交流する機会を提供，3) 外国籍教員による工学デザインに関する講義を英語で実施（15回中5回分），という国際化のための取組みも実施している。

## 3. 車椅子のタイヤ洗浄機の開発

2015年度は約50名の受講生を6つのグループに分け，それぞれの大テーマに2グループずつ配置した。そのうち「車椅子～」の担当になった2つの学生グループは，頸椎損傷で重度肢体不自由となった大型電動車椅子ユーザのご自宅を訪ね，日常生活で不便に感じていること，改善したいことなど，ユーザーニーズの掘り起こしのためのインタビューを実施した。そしてユーザーインタビューを通じて具体的なテーマを絞り込み，設計製作活動を行った。以下にその詳細について記載する。

### 3.1 ユーザーインタビューと問題設定

インタビューに協力していただいた車椅子ユーザは，ベッドに横たわる以外は大型の電動車椅子に座って生活をしている方である。インタビューを進める中で，外出が好きなことや自宅の外で仲間との交流が楽しみであることなど，社交的な人であることがわかった。しかし1日に何度も外出するのは気が引けるとのことなので，理由を掘り下げていくと，問題は帰宅時にいることが判明した。すなわち，車椅子ユーザが外出先から帰宅した時にタイヤが汚れていては部屋の中にそのまま入ることはできないのでタイヤの汚れを落とす必要がある。しかし重度身体障害者である車椅子ユーザに車椅子から降りてもらうことは不可能なので，現状は車椅子に人を乗せたまま介護者が濡れタオル等で掃除をしなければならない。この作業では各タイヤを洗浄する必要があり，洗浄や後片付けなどに最低でも10～15分を要する。そのため車椅子ユーザは介護者へ手間のかかる作

業を依頼することに躊躇し、頻繁な外出をためらいがちであることが判明した。また介護者へのインタビューの結果、この手間を省くことが介護作業の効率化に大きく貢献することが分かった。

次に既存の類似製品の調査を行ったところ、小型の車椅子については、海外では家庭に車椅子のタイヤ洗浄機を設置している家があることがわかった。しかしそれら既存装置は大型であり、日本の家庭では玄関にその装置を設置できるほどのスペースはないことが判明した。そして一般に、重度身体障害者用の電動車椅子は大型であり、例えば、ある市販の電動車椅子の場合、製品重量は300ポンド(136kg)で、車椅子ベース部分の幅28インチ(711ミリ)、長さ38.75インチ(984ミリ)、全体高さ41.25インチ(1048ミリ)の寸法を有する。これに車椅子ユーザと介護に必要な荷物等を載せると総重量は300kgにも達するが、そのような重量に耐え得る車椅子タイヤ洗浄装置は現存しない。

以上から、大型電動車椅子を使用する障害者および介護者をターゲットにして、コンパクトで場所をとらずに設置できる大型電動車椅子用のタイヤ洗浄機であれば需要があると考えた。そして車椅子が上に乗ることでタイヤを洗浄できる装置があれば、外出先から帰宅した際に必要なタイヤ掃除の手間を減らし、問題の解決を図れると考えた。

### 3.2 立案

車椅子グループは、ユーザーインタビュー後に実施したブレインストーミングの結果、各タイヤあたり2本のローラでタイヤを支えながら、モータ等を用いてローラを回転させて、バネを利用した布の押し付け機構によりタイヤの汚れを擦り取るという構想案をまとめた。Fig.1は、この構想案をもとに描いた装置のフリースケッチである。この段階で各機構などの詳細はまだ定まっておらず、具現化のためには、1) 機能の抽出、2) 機能実現ための方法/手段を複数提示、3) 必要な機能を数値(スペック値)で記述、4) スペック値から現実的な方法/手段を選択、といった過程を経る必要がある。車椅子グループも、この検討過程を経て次のような構想案をまとめた。

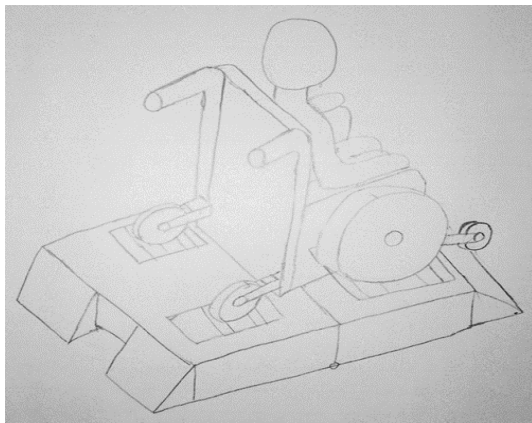


Fig. 1 Free sketch of initial concept

開発する装置では、ローラを前後左右に2つずつペアで、並列に計8つ設置する。ローラによってタイヤを支えてモータで回転させ、ペアのローラの間に取り付けた雑巾またはブラシによって汚れを擦り取る。洗浄後に部屋の中でタイヤの跡がつかない程度の洗浄を想定している。洗浄効果を比較する簡易実験の結果、雑巾で汚れを擦り取る方法を採用した。また雑巾をタイヤに密着させる目的で、バネによる雑巾の押し付け機構を採用した。この方法では布を取

り外して洗濯が可能である。そして省スペース性を実現するために、折り畳みのベッドのように装置を折りたためるようにした。

### 3.3 クイック&ダーティプロトタイプ

構想案を単に絵や言葉だけでユーザに伝えようとしても、専門家でないユーザには内容がわかりにくい。そこで本授業では、ユーザとのコミュニケーションを円滑にする目的で、身の回りにある素材を使って製作した「クイックアンドダーティプロトタイプ」とよぶハリボテ(Fig.2)を用いて、第2回のユーザーインタビューを行わせている。車椅子グループも実物大のハリボテを製作して協力者の自宅へ持ち込み、評価してもらったところ、「サイズが大きい」「女性の介護者でも安全に設置できるような重さなのか」「どれくらいタイヤをきれいにすることができるのか」「洗浄終了後に、どのようにして装置の上から脱出するのか」などのフィードバックを得た。さらにメンター教員からは「電源が得られないかも知れないので非電動でローラを回転させるほうが良い」「サイズが異なる車椅子でも使えないか」などのコメントを得た。これらのフィードバックやコメントをスライドにまとめ、15週目の最終発表会でデモンストレーションを交えて構想案の発表を行った。

なお教員側は、もう一步踏み込んだユーザ評価のため、構想案の発表会までに木やプラスチックを用いて製作したプロトタイプの完成を期待していた。しかし、ものづくり経験が浅い昨今の学生たちはなかなか手が進まず、段ボールのハリボテで発表するグループが大半であった。



Fig. 2 “Quick and dirty” prototype using cardboard

### 3.4 仕様決め

10月から始まる第二の1~2週目で、学生たちは仕様を決定する。ここでは先のユーザーフィードバック、メンターのコメント、最終発表会でのコメントに基づき、構想案に改良を加える。車椅子グループは「洗浄方法」「タイヤの回転方法」の2点について大きく方針を変更することになった。まず洗浄方法は、バネによる雑巾の押し付け機構ではなく、スポンジに布を巻き付けたものをタイヤ下に固定して洗浄を行う方法を採用した。構造がより簡単になり、かつスポンジがタイヤの形状に沿って変形することで、拭き残しがなく広い面積を洗浄できることが特徴である。自動洗浄の方法として、電動車椅子の駆動輪をローラの上で回し、これを動力源として活用することを考えた。つまりFig.3のように、タイヤを支持している前後のローラをベルトとプーリで連結し、車椅子の後輪(駆動輪)の力を前輪(非駆動輪)へ伝達して前輪を回すというものである。この方式によって非電動で前後のタイヤの洗浄が可能となる。

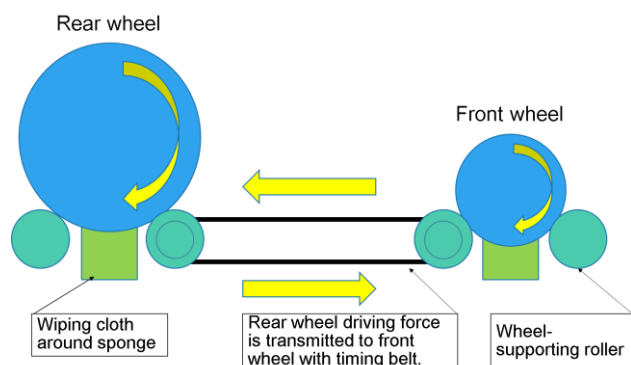


Fig. 3 Proposed wheel-cleaning mechanism

### 3.5 設計・製作

仕様が決まり、第1回のDR後に、基本設計へ移行する。車椅子グループは300kgの荷重に耐え得る強度を実現することが課題となった。材料力学的計算や3D-CADソフトによるシミュレーションを行い、各部品部材ごとに必要な強度を算出して、仕様を満たす市販部品を選定し、組立図、部品図を作成した。第2回のDR後、市販部品を発注し、その他の部品は図面に基づいて学内の工場で作成した。部品を組み付けるフレームは強度的に板金やアルミフレームで製作することを教員側は望んだが、車椅子グループには時間的余裕がなく、木材とプラスチックを用いたプロトタイプを完成させて2月初旬の最終発表で発表した(Fig. 4)。



Fig. 4 First prototype using woods and plastics

### 3.6 外注

2015年度は本授業初めての試みとして、構想案について外部資金の申請書を各グループに書かせて、応募を行わせた(この申請書を第一の最終発表開示までに提出させて各グループの最終レポートとした)。幸運にも車椅子グループの提案が採択され、同グループは製作を外部発注するのに十分な資金援助を得た。3月に開催される展示会でデモ機を発表することがこの外部資金の条件であったため、2月初旬の授業発表会の直後から、展示会向けの作業を開始した。

展示会用のプロトタイプ的设计製作は、最終発表会までに製作したCADデータを一部変更することで対応が可能であった。装置の軽量化と300kgの荷重に耐えうる強度を両立させるため、材料にアルミニウム合金(A5052)を使用し、板金加工でフレームを製作することにした。総重量は目標値の10kgを大幅に超過するため、少しでも軽量化を図る目的でフレームや下板などの部材の肉抜きを図面変更を行い、装置下部にキャスターを取り付けることで、装置を折りたたんだ際に小さな力で運搬を可能にした。図面

変更の作業は2～3人の学生が協力して約3週間で終わることができ、2月末までに出荷した。その後、約2週間ですべての部品が納品されたので、学生たちは春休み期間中ではあったが大学へ来て組立作業を行い、3月下旬の展示会の数日前に完成させることができた(Fig. 5)。そして動作確認などのテストを実施して、仕様どおりの機能が実現できていることを確認した。なお総重量は15kg超過の25kgであった。



Fig. 5 Exhibition model using sheet-metal working

展示会では100名を超える多くの方々に来場していただき好評を得た<sup>(3)</sup><sup>(4)</sup>。学生たちが意図しなかった提案を来場者からもうこともあり、企業人との交流を通して様々な知見を学生たちは得ることができた。その後、特許出願を済ませて車椅子グループのプロジェクトは終了した<sup>(5)</sup>。

### 4. おわりに

本稿では、PBL授業で開発を行った電動車椅子用のタイヤ洗浄機の開発について、授業の様子を交えて解説をした。授業を通じての経験則では、学生たちは問題解決にあたり、特定の方法/手段に固執する傾向がある。機能を実現する方法/手段は多様だが、多くの学生たちは狭い枠にはまって抜け出せない。そこで構想案から仕様決めに至る過程では、ユーザとの頻繁かつ積極的な意見交換およびメンターの的確な助言が極めて大切であると考えている。本授業を通じて学生たちが人間中心設計の方法論を身につけ、これからの日本の製造業に大きく貢献することを、我々担当教員たちは願ってやまない。

### 謝辞

車椅子グループの開発は、JST 大学発新産業創出プログラム(START)技術シーズ選抜育成プロジェクト(ロボティクス分野)の支援を受けた。また、国立障害者リハビリテーションセンター研究所の井上剛伸先生ならびに硯川潤先生、東京頸髄損傷者連絡会会長の鴨田慎吾様には多大なるご協力を賜った。ここに記して感謝する。

### 参考文献

- (1) 東京工業大学OCW (Tokyo Tech Open Course Ware). <http://www.ocw.titech.ac.jp/>
- (2) Mメソッド: 多空間のデザイン思考, 松岡ほか, 近代科学社.
- (3) ロボティックスxフューチャー2016, 東京, 2016.3.18.
- (4) 日刊工業新聞Web版2016年3月19日. <http://newswitch.jp/p/4049>
- (5) 車椅子車輪用洗浄装置, 特願2016-105125, 2016年5月26日出願.