

核融合科学研究所における日本版デュアルシステムの 取り組みについて

河本 俊和^{*1}, 三宅 均^{*1}, 山内 健治^{*1}, 小平 純一^{*1}, 大嶽 晃^{*2}

^{*1} 自然科学研究機構核融合科学研究所, ^{*2} 岐阜県立多治見工業高等学校

1. はじめに

平成16年度より岐阜県立多治見工業高等学校は、文部科学省による施行期間3年の日本版デュアルシステムの実施指定を受け制度を開始していた。核融合科学研究所では平成17年度からこのシステムの連携を受け、平成18年度に施行期間が終了した後の平成19年度以降も「研究者・エンジニアとしてのモノの見方、考え方を育成する」ということを主眼に置いて、毎年、技術的課題を掲げて複数の生徒を受入れている。今回、本研究の過程や受入れ開始から4年間の課題の取り組みの内容等の経緯について紹介する。

2. 日本版デュアルシステム

平成16年度、文部科学大臣名で配布された資料等によると専門高校等における「日本版デュアルシステム」推進事業実施要項（案）では、推進地域は全国から研究モデル地域として15地域を指定。また推進及び研究開発の期間、委託期間は原則として3カ年。実績の報告、各教育委員会は推進事業における研究開発の成果、実績を毎年文部科学省に報告することなど制度的なことが明記されていて、指定された岐阜県内では研究モデル地域として県立加茂農林高等学校〔農業〕と県立多治見工業高等学校〔工業〕が選ばれている。

日本版デュアルシステムは、若年者向けの実践的な教育・職業能力開発の仕組みとして、企業での実習と学校での講義等の教育を組み合わせることで実施することにより若者を一人前の職業人に育てる仕組みのことを言う。より具体的な表現としては、学校においては、生徒の企業・研究所の実習を通じて、企業・研究所の実習に係わる評価基準の策定やバックアップ体制の検討など、効率的な企業・研究所の実習の在り方について検討する。企業・研究所においては、企業・研究所の実習を通じて、実践的スキル・技術や社会性など、一人前の職業人にふさわしい資質を持った若者に生徒を育てるための効率的な企業・研究所の実習の在り方について検討を行う。また、実習時間は週1回3時間程度、合計70時間程度を想定している。

3. 活動内容

3.1 年度別の課題（課題名、生徒数、研究所担当者数など）を表1に示す。

表1 年度別の課題

年 度	課 題	生徒数	所担当者数
平成17	軌道上物資移動システム（電磁力ロケット）の研究	3	5
平成18	電磁力ロケットの研究	4	6
平成19	プラズマ実験装置用撮影カメラ駆動機構の設計・製作1	2	4
平成20	プラズマ実験装置用撮影カメラ駆動機構の設計・製作2	2	4
平成21	自立式同軸二輪車の製作1	4	5
平成22	自立式同軸二輪車の製作2	4	6

3.2 年度別の研究課題のあらまし

3.2.1 平成17年度

核融合科学研究所（NIFS）は多治見工業高等学校（多工高）の依頼により電子機械科3年生3名の生徒をこの制度のもとで受け入れた。課題は、「軌道上物資移送システムの研究」の原理の理解と基礎実験で、平成16年度にインターンシップで来所した生徒の課題研究として取り組みたいとの要望から実現の運びとなった。

生徒の提案書には「新技術のシステムを研究するという目的を通じて、学んだ知識を駆使し、研究を行うことで将来に役立つ経験をし、多くを学び、かつ研究の難しさなどを実感したいと思いテーマを決めました。」また「現在、本システムは実現こそはしていないが、USA等の研究機関で基礎研究がなされています。」と書かれ、課題に対する各種資料等の収集など強力な熱意を感じた。

ところで、この軌道上物資移送システムは惑星の衛星軌道上や衛星の周回軌道上に物資を大量に輸送するための地上設備である。他国の研究機関では地上設備の場合、第一宇宙速度（約7.9 Km/sec）まで加速する装置を想定している。また、今話題の日本製「H2B」ロケットは、国際宇宙ステーションへ機材、食料等の物資を運ぶための軌道上物資移送システムで、1号機が2009年9月11日の打上げに成功している。推進力はロケット方式であるが身近な実例である。なお、2号機は2011年1月20日に計画されている。

今回のデュアルシステム課題は宇宙規模のスケールで、関連情報の収集、技術的理解、コスト、安全性、部品製作など、デュアルシステムの実習条件では対応が難しい事がわかる。そこで、これに変わるより身近な方式を生徒と考えることになり、リニアモーター方式、電磁コイル方式、超伝導方式、火薬方式、レールガン方式などが提案された。研究所で対応できる範囲を考慮して、実習ではレールガン方式と電磁コイル方式を採用してデュアルシステム実習を進めることになった。

レールガン方式については、永久磁石を含むレール関係を多工高が担当し、滑走体、電源等はNIFSの担当と作業を分担した。以下の実験では、準備、データ取得、纏めなど多工高の生徒が大活躍した。

簡易実験では、レールや走行体の材質や形状、レール間の電圧、電流を変え、色々な組み合わせの条件で走行体の加速度を測定した。この時の最適条件では、約 0.64m/sec^2 の等加速度が得られている。ただし、ここに至るまでには写真（図1）のようにレールと滑走体間で発生する溶損や放電によるエネルギー損失によって効率が極めて低下していることも学習した。電磁コイル方式については、コイル関連の製作を多工高が担当

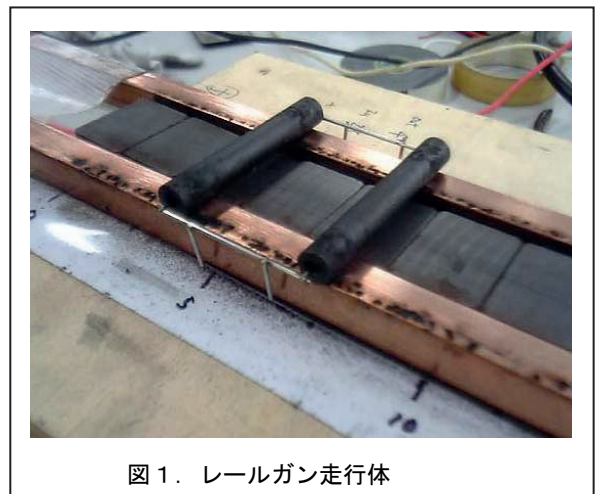


図1. レールガン走行体

し、発射台、飛翔体、パルス電源、スイッチ等はNIFSの担当分担とした。ここでも各種条件を変えて行った簡易実験で、飛翔体の高度は約12mと実測している。なお、ここで使用したコイルは直径1mmのエナメル線で約1500ターンの手巻きであり、飛翔体は78gの鉄棒である。

3.2.2 平成18年度

18年度は電子機械科3年生4名が前年度に引き続き「電磁力ロケットの研究」の課題で発射パワーアップをめざす目標を設定しNIFSでのデュアルシステムとして取り組むことになった。目標達成のために、まず前年度の学習過程と内容等の復習から始めることになった。発射パワーアップの方法として複数の案が提案されたが一段加速であったものを、直列二段加速とし実施する方針とした。ここでは、二段加速関連の基礎実験と製作についても記しておく。

二段目電磁コイルには最大（サージ）電流 400 A の SCR 電源を用い、一段目コイルと二段目コイルの間に、飛翔体通過タイミング検出用フォトカプラーを取り付け、その信号を SCR 電源のトリガーに用いた。また、電源の放電過渡現象の検討結果、一段目コイルは直径 1 mm のエナメル線 700 ターン、二段目コイルは直径 2 mm のエナメル線 350 ターンとし製作することになった。ここでもコイル関連の製作は多工高が担当している。また、飛翔体と一段目コイル下端面の位置を mm 単位で調整可能、かつ発射時の反力が微調整部の機構に及ばないようにウォームギアを用いた装置を設計し、写真（図 2）のような発射台を NIFS で 2 台製作した。飛翔体の発射速度計測については、通過二箇所速度測定用フォトカプラーを装着し、その間を通過する時間より計算した。また、プラズマ計測で使用している高速カメラを用いて速度計測値の比較も行った。この時の二段加速実験では一段目コイルの通過速度約 22 m/s 二段目コイルの通過速度 約 32.5m/s を実測値として得た。ところで、この年度 10 月に開催された多工高の学校祭で展示と実演を行ったが、その様子が地元新聞に写真入りで大きく掲載されている。

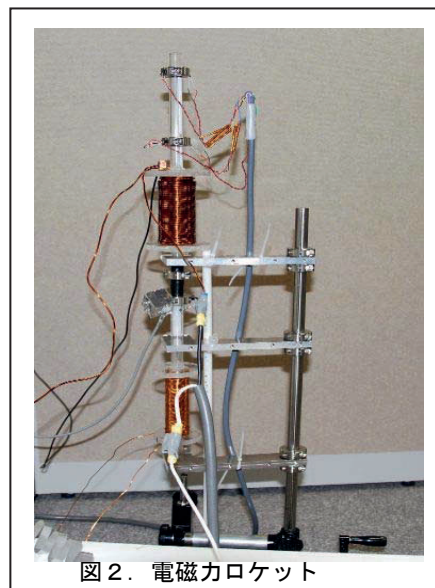


図 2. 電磁カロケット

3.2.3 平成 19 年度

多工高のデュアルシステム活動は平成 18 年度をもって文部科学省による施行期間が終了したが、高校側の要請により本年度も NIFS として引き続き協力し電子機械科の 3 年生 2 名の生徒を受け入れることになった。本年度の課題設定については NIFS に多くある技術的な課題の中から、今まで撮影できなかった装置内部を撮影できるカメラを作る要望があり「プラズマ実験装置用撮影カメラ駆動機構の設計・製作」を選び、新たな課題として取り組むことになった。実習課題が新しくなり、NIFS のプロジェクト計画で稼働している巨大な実験装置に、各種計測機器を取り付ける場合の制約条件の洗い出しから学習を始めることになった。具体的には装着する観測ポートに制限される大きさから、挿入パイプ容器の形状を設計し、強磁場環境下での駆動源として超音波モータの特性を学び、また、周辺磁場に悪影響を及ぼさない非磁性体材料の学習と選定を行い使用することを決めた。強磁場環境下と遠隔制御の対応等についてはノイズに強い光通信技術を採用する。そして、カメラの駆動伝達機構にコンパクトな平歯車列の組み合わせを考えるなど、生徒二人構成にもかかわらず飛躍的な前進があった。このカメラシステムは多工祭で実物展示され、また、NIFS オープンキャンパスの高校生企画コーナーでの実物展示とポスターによる発表も行った。

3.2.4 平成 20 年度

20 年度は電子機械科の 3 年生 2 名の生徒を受け入れ課題は前年度実施した「プラズマ実験装置用撮影カメラ駆動機構の設計・製作」を引き継ぎ、機器を完成させることを目標においた。前年度の知識を学習しているとはいえ、生徒に対しては技術的内容を含めプラズマ実験装置の実機に装着する各種制約条件などの説明を、前年度と同様に始めることになった。特に装着する観測ポートの大きさによる挿入パイプ容器の形状や観測窓の超高真空度の維持（石英窓やシール部から空気の漏れがないこと）など、これらの条件をもとに生徒が授業で習得している CAD を使って必要部品の加工寸法図面の作成に入った。観測ポートに装着する挿入パイプの先端は、プラズマ真空容器内の上部空間を撮影する条件では、視野確保のため角度を付ける必要がある。前年度の図面では 45 度の傾きで加工図面が描かれていたが、実際は以下の重要な問題点が潜んでいた。挿入パイプ先端側の切断面の形状が楕円になること、楕円のため長径と短径があることで長径寸法と観測窓取り付けフランジの接合寸法の不具合、接合部分の溶接トーチ先端部分の侵入空間の確保の困難さなど、組立図面が描けても材料の加工、組立てを想定する段階で不具合があることが分かった。検討の結果、最終的には図面（図 3）

のような 60 度傾斜の寸法になり、修正した図面寸法で組立て確認が取れ機械加工、溶接などを済ませ本組立ての準備ができた。その後、観測用石英窓の取り付け、超高真空用 ICF フランジの取り付け、締結ボルト・ナットのトルク管理などを体験し、真空リーク試験装置に取り付けてリーク試験を実施した。総合試験ではリークが発見されず、NIFS の真空管理基準でリーク無しと判定を受けた。それからは前年度製作済みの CCD カメラシステムを挿入パイプ内部に装着し、カメラ駆動信号伝達用の光・電気変換器と制御回路を接続して、このカメラシステムで真空容器内部の撮影が可能にな

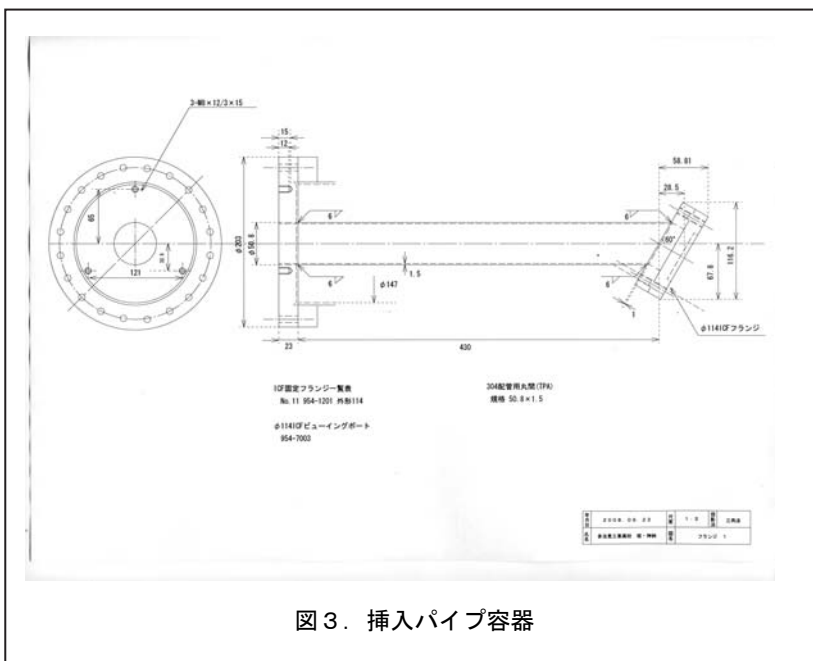


図 3. 挿入パイプ容器

った。今回試作のカメラシステムはコンパクトで完成度が高かったが、時間的制約から LHD プラズマ実験装置への取り付けは見送ることになり、真空リーク試験装置への取り付けのみで、当初設計した仕様を確認するカメラ駆動試験を終えることになった。挿入パイプ内部に実装されたカメラシステムは、NIFS オープンキャンパスの高校生企画コーナーで実物展示と実演、多工祭でも同じように実物展示と実演などを行うことで駆動耐久性も評価できた。また、これまでの実習過程の内容をポスター発表形式で分かりやすくまとめることで、一層理解が深められた。

前年度から継続したこの課題の特長は、非磁性体材料の選定と採用、光・電気変換素子を使った信号系の送受信、駆動源に超音波モータを採用しコンパクトな歯車列を設計した駆動伝達機構など、強磁場環境下でも遠隔操作による撮影の信頼性を高め、凝縮された内容と高度な技術をさりげなく含んだもので、また、デュアルシステムをみの短期間で幅広い技術を習得できたことは、生徒の真摯な態度を背景に、デュアルシステムのもつ長所が大きく生かされている事例の一つであろう。

4. まとめ

4.1 感想

4.1.1 デュアルシステムの課題を通して

初年度であった平成 17 年度からの担当者の一人としてデュアルシステムの生徒たちを受け入れてきたが、社会情勢を反映しているかのように、生徒たちの課題に対する取り組み方や考え方にも変化があるのを感じている。また、この原稿を書いているときに各年度の生徒たちの顔が一人ずつ浮かんできた。特長ある個性の彼は今どうしているのだろうか……。進路について個人的に話しを聞いたこともあった。同年齢のころにタイムスリップして、抜け出せなくなっている自分を発見したこともあった。概ね、デュアルシステムで学習した生徒たちは、企業、大学、専門学校などに進路をとり、卒業後も評判が良いと聞いている。デュアルシステムで NIFS 独特の環境に飛び込んでも、若者らしくすぐに順応できることのすばらしさを感じることも多かった。学校の授業とは異なり、答えの用意されていない問題に取り組み、悩み抜いている姿は光っていた。その後、何らかの結果を出すために果敢に挑戦している姿も輝いていた。毎年の事ながら、多工高での授業内容のカリキュラム変更情報が少なかったこともあり、学校でまだ学習していない内容まで踏み込んで説明せざるを得ない時は、お互い困った場面もあった。

これからもデュアルシステムを通して生徒たちに「元気」を与え、また「元気」を貰える自分でありたいとも思う。

4.1.2 代表生徒からの声

4.1.2.1 平成17年度

この研究は、何もかもが手探りの状態でスタートしました。研究の過程では、様々な問題が発生し、その度に研究所の先生に助けていただきました。研究の内容はとても難しく、成功させるのはとても大変ですが、逆にとてもやり甲斐のある課題研究になったと思います。僕たちはこの研究を後輩の方たちに引き継いで欲しいと思っています。興味のある人はぜひやってみてください。いい経験になると思います。

デュアルシステムとは、学校だけでは学べない知識や技能を他の機関に協力していただき、身に付けるために進めていく新しい学習方法です。昨年度から本校では文部科学省の指定を受けてデュアルシステムの研究体制が敷かれていました。最初私たちは課題研究の枠組みの中で、この研究を進めていく予定で、簡単な試作品までは作ってみました。6月頃デュアルシステムを利用し、核融合科学研究所の先生方に研究の助言・指導をしていただけるようになり、大きく前進することが出来ました。毎週金曜日に、核融合科学研究所を訪ね、先生方の協力を得ながら、学校にはない装置や特殊な材料を使わせていただきながら研究と製作を行いました。

4.1.2.2 平成18年度

今回課題研究を進めるのに伴い、学校ではできないような高度な技術力に触れることが出来ました。研究所の皆様の分かりやすいご説明もあり、その仕組みを理解することもできました。実験を重ね、問題を見つけ、原因を追求し、解決に全力を出す。こんな学習は他にはないと思います。製作した「電磁ロケット」は、先輩方の努力がなければ今回、こんなに順調に進むことはなかったと思います。また、研究所の皆様のご協力は、私たちにとって研究を進められるかどうかの生命線とっていいくらいに頼りにしていました。インターンシップの時にも研究所の方の知識や技術には驚きっぱなしでしたが、今回の研究で更に驚くことになりました。将来こんな技術力を自分も身につけたいと思いました。

4.1.2.3 平成19年度

この課題研究を通して、アイデアを考える難しさを学びました。今回の研究では、真空中、磁場中などの条件の中、どういう構造にするか、カメラの駆動機構やカメラの視野を広げるためにはどうすればいいのか、など、アイデアが必要な場面がいくつかありました。その時に、なかなかいいアイデアが浮かばなくてとても悔しかったです。これからの生活、特に、大学ではアイデアはとても必要だと思います。今回の研究で、学んだ事をいかして今後の大学生活に役に役立てていきたいです。

4.1.2.4 平成20年度

この研究課題では、実際に核融合科学研究所に伺っての研究でしたが、初めて体験することばかりでした。設計を考え、実際にその図面を製作したりしました。そしてものづくりの難しさを実感しました。図面では、たくさんのことを指摘され、なかなか採用されることができず、図面作成の難しさや大切さを実感することができました。

参考文献

野村 吾郎、他 「デュアルシステムにおける自立式同軸二輪車の製作」 : 本研究会