



高校における理数科教育の新しい展開：スーパーサイエンスハイスクール

The New Development of the Science and Mathematics Course Education in High School

石井彰三
Shozo Ishii

東京工業大学
工学部附属工業高等学校 校長

1 スーパーサイエンスハイスクール

我が国の科学技術の発展にもかかわらず、小・中学生や高校生の理科と数学に対する反応は今ひとつ盛り上がっていない。高校生には、これらの科目が受験のための勉強として考えられがちであり、生活体験や実際の経験を基本にして、興味をいだいている生徒は少ないようである。学校における学習は、教科書を見て初めて知るというのではなく、体験や日常生活と関係づけられてこそ、真の学力として身につくであろう。文部科学省が発足させたスーパーサイエンスハイスクール（Super Science High Schoolの表記から以後、SSHと略記する）は、「理科大好きプラン」の一環として始められている。その趣旨は高校教育における理科と数学について、興味と関心の深い生徒の能力をさらに伸ばせるような教育の可能性を研究するものである。すなわち、理科と数学に重点をおいたカリキュラムの開発や、教育現場と大学や研究機関等との連携、あるいは創造性や独創性を高めるための指導方法について、研究開発を推進する高校を指定し、科学技術系の有為な人材を育成することを目的としている。

平成13年にSSHの趣旨とその概要が発表され、全国40都道府県で77の高校から応募があり、初年度として26校が指定された。このうち、私立高校は3校、国立の附属高校は3校が含まれており、本校は工業高校として唯一指定された。SSHの研究期間は3年間である。

初等中等教育では教育内容を充実するため、教育システム等の研究開発の提案を各学校から受け、文部科学省から研究開発校に指定されて、数年間にわたってそのテーマの研究開発を実施する制度がある。この場合、学習指導要領の枠にとらわれない新しい教育を試みることができる。この従来からある研究開発の制度と、今回新しく始まったスーパーサイエンスハイスクールは別のものとなっている。

2 東工大工学部附属工高におけるSSHの特徴

本校は、明治19年に創立された東京商業学校附設商工徒弟講習所の職工科と、昭和18年に創立された東京高等工芸学校の電気通信専修科とが、それぞれ幾多の変遷を経て東京工業大学に移管合体され、昭和26年4月に東京工業大学工学部附属工業高等学校となっている。現在、生徒の定員は1学年が200名で、機械科、電気科、電子科、工業化学科、建築科の5科で構成されている。我が国で唯一の国立の附属工業高校であるので、全国の工業高校における教育について、その先導的役割を果たしてきている。

ところで義務教育である小学校・中学校と異なり、高校には普通教育を主とする学科、専門教育を主とする学科、普通教育及び専門教育を選択履修させ総合的に施す学科の三種類がある。第一番目の学科だけから構成される学校がいわゆる普通高校であり、学校数は圧倒的に多く、大学への進学者のほとんども普通高校出身である。第二番目は専門高校で農業高校、商業高校、工業高校などが含まれる。今回のSSH指定校も、本校以外はいずれも普通高校である。専門高校においてもカリキュラムの主体は普通教科の科目であるが、工業高校の場合には専門科目と理科や数学の授業との関係が深いので、特徴のあるSSHとしての教育の研究が期待できる。

専門高校は職業教育の場として、中堅の職業人を育成してきた実績がある。しかしながら、近年では大学進学を希望する生徒が増え、産業界も大学卒業者を歓迎するようになってきたので、専門高校の位置付けとあり方について、教育現場では再検討が進められている。教育に多様性を持たせ、特徴のある人材を育てるためには、普通高校だけでは実現できない。実学を重視する分野では、十代の早い時期から専門の勉強を始めると効果的であることが知られている。専門高校の新しい教育システムの研究とその実践による社会への貢献

は、ますます重要な課題となろう。この点からも、科学技術系の専門高校である本校で実施するSSHの意義は大きいものがある。

本校の研究開発課題は、「最先端の科学技術を教材としてとりいれ、理工系大学と連携をはかりながら、理数系教育における学力向上とともにセンス・創造性・独創性及び倫理観を高める新しい科学技術教育システムの研究開発」である。これを課題として本校が進めているSSHの特徴を、まず説明したい。

2.1 学校全体をSSHとする取り組み

今回指定されたほとんどの高校においては、SSHのために特別の学級を編成し、学校の一部分で実施しているが、本校では全校生徒全員を対象とし、学校そのものをSSHとして研究を行っている。これは高校における理科と数学の新しい教育のあり方と方法を研究するうえで、年次進行による効果や様々な問題点相互の関係を調べるためにも、学校全体で実施する必要があると考えたからである。

2.2 サイエンスだけでなくテクノロジーもとりにいれる

何気なく「科学技術」という言葉を日常使っているが、この表現はおかしいと指摘する人が多い。また、「科学」と「技術」は質的に異なるものなので、単純に「科学技術」と合成するのではなく、「科学・技術」として概念を明確に記述すべきであるとの指摘もある。これらの議論は、英語で「科学技術」を表現しようとするとうなるのかを考えると、問題点がより明確になろう。SSHでは理科と数学に重点を置き、いわゆる科学（サイエンス）が中心となっている。科学の成果をとりいれながら技術は進歩してゆくものであり、逆に技術の中から新しい科学が生まれる場合もあるので、科学と技術は両輪の関係にある。このため、両者を切り離して考えることはできない。この問題を念頭において高校における理科と数学の教育に、「技術」をとりいれることにより、どのような可能性があるかについて、SSHの申請にあたっては本校教諭の間で激論がかわされた。

理科と数学の授業では、学ぼうとする内容が実際にどのように使われるのかについて、生徒に提示する場合としない場合では、教育効果は大きく異なってくる。そこで、本校が工業高校として積み上げてきた経験と教育実績を生かして、理科と数学の授業の中に「技術」を積極的に教材としてとりいれることとした。その結論として、文部科学省から示されている概念をさらに広げて、スーパーサイエンス&テクノロジーハイスクール（SS & TH）を提案することとなった。

2.3 SSHと工業高校

従来は、高校教育と大学教育がそれぞれ独立に行われてきており、両者の接点は大学の入学試験に凝縮されていた。大学教育を充実させ質の高いものとするためには、高校から大学まで一貫した教育理念と教育体系が確立されている必要があるが、現実には大きな断絶があるといわざるを得ない。また、高校生の大学進学率が高くなるとともに、大学進学は普通高校からという考え方も変わりつつある。入学試験では不利な条件を負わされているにもかかわらず、専門高校から大学へ進学する生徒が増加している。しかしながら、専門高校と大学における教育について、それぞれの関係とその接続性に関する議論は進んでいないようである。普通高校に較べて、専門高校の生徒は多様な教育を受けており、彼らの視点も様々でかつ个性的である。専門高校の卒業生は大学教育により、さらにその能力が伸ばされ大きく開花する可能性を秘めている。

工業高校は社会構造や産業構造の変化に対応して、その教育内容を変えてゆくべきものである。科学と技術がその進歩と発展により高度化、多様化、複雑化するとともに、高校、大学、大学院と連続する教育システムについて、その理念と哲学の重要性が高まっている。すなわち、それぞれの教育課程のはたすべき役割に関する認識の必要性が、従来に比べて大きくなっているのである。これらの点を背景として、工業高校の位置付けも進化しているといえる。工業高校は前述したような役割を担っていたが、理工系の大学教育を引き続き受けることを前提として、高校時代に与えるべき教育を実践する、新しい教育理念を持つ工業高校へと生まれ変わるべき時代となっている。

第二次世界大戦後から日本の産業が復興し、大きく発展してきた時代には、子供達の周辺では、いろいろな材料から様々な製品が作られ、壊れてしまった機械が修理されてゆく様子などを身近に見る機会が多かった。また、自分自身でラジオの工作をしたり、身のまわりにある機械類を手当たり次第に分解してしまう子供達も沢山いた。そのような中から、将来は理工系分野で活躍したいと夢を抱く子供達が育ってきたのである。しかしながら、技術が進むに従い、機器の構造や原理を理解して、その中身を自らの手によって触れる機会が失われてきている。つまり、実物に触れ技術に対して感動し、そのセンスを磨くことが困難になってきている。このようなセンスは、自然現象への素朴な感動、様々な機器への興味と関心、手を使ってモノを作る喜びなどの体験を通じて身につけることができる。

今の時代では日常生活の中で、このような体験をすることが難しい状況であるからこそ、教育機関において、その機会を与えることが必要なのである。教科書に書かれている事実

から理解させるのではなく、実験や実習を通じた実体験から、科学・技術のセンスと理論を同時に身につけさせるのが、工業高校における教育の特徴であり、その存在理由でもある。体験的学習を通じた科学・技術に対するセンスの体得は、子供から大人に成長する過渡期である高校時代に行うのが、もっとも効果的である。SSHとして本校では実験と実習を重視して、「ものの取り扱い」や技術者や研究者に要求される「センス」をはぐくんでいる。

2.4 普通教科と工業科の協力

本校は工業科の専門高校ではあるが、カリキュラムの大半を占めるのが、いわゆる普通教科と呼ばれる国語、地理・歴史・公民、数学、理科、保健体育、英語の授業科目である。これに加えて5科それぞれの工業科目がある。本校では、全校生徒と教職員が一体となってSSHの研究開発に参加しているが、普通教科と工業科の教諭全員の協力を特筆したい。特に、理科と数学を担当する教諭と工業科担当の教諭との協力関係は、密接なものとなっている。普通教科においても科学と技術にかかわる内容を多くとりいれて、表現能力、コミュニケーション能力、倫理観など、高校時代であるからこそ身につけておくべき基本的な力や考え方を学ばせている。

大学の工学部においても、技術者倫理教育がとりいれられるようになってきているが、専門分野の知識と理解が深いレベルまで進んでいない工業高校における教育では、科学と技術における倫理観をどのように生徒諸君に理解させるかは、難しい課題でもある。しかしながら、大学では行われていないが高校教育では重要な、生活指導も通じて視点を変えた倫理教育をすでに実践している特徴がある。

2.5 東京工業大学との強い連携

本校は東京工業大学工学部に附属する工業高校として、大学と密接な関係を持ちながら、教育の実践や教育に関する研究活動を行ってきた。これらの実績に加えて、SSHの活動にあたって、さらに次のように連携を深めている。

生徒に興味を持たせ意欲を高めさせるためには、科学と技術の具体的な実例や最新の成果を理科、数学、専門の各授業に教材に使うと効果的である。たとえば、最先端技術の知見とそこで展開される合理的かつ論理的思考方法を、東工大の教官が高校の教諭と協力して授業を行っている。同時に高校教諭が大学教官と一体となった授業についての研究も実施する。また、東工大の学生をティーチングアシスタントとして、実験・実習の授業補佐を担当させることを試みている。

3 研究組織の構築

SSHの研究活動では授業の実践だけでなく、授業科目相互の関係についての検討と調整、教材の準備、東工大の教官と学生の授業担当計画の作成と依頼、研究成果及びその効果に関する評価など、様々な作業がある。このため、研究を推進する組織体制の整備が必要となってくる。このため、本校の場合には授業科目に応じて、課題研究研究会、先端科学技術入門研究会、科学技術研究会、数理研究会、人と技術研究会、メディア活用教育研究会、中高接続研究会、科学技術系コンテスト等参加推進委員会という8つの委員会を組織して研究活動を進めている。このような研究組織は研究活動全体の大きな流れを教職員が常に把握できることや、作業の分担により研究開発を効率的に進められることなどの利点が多い。

4 SSHのカリキュラム

本校における研究開発のねらいは理科・数学と科学・技術を結びつけて、高校で学ぶ内容が実際にどのように使われているかを、生徒に十分伝えることにより理解を深めさせ、かつセンスや創造力を養う教育課程とするものである。このため従来のカリキュラムを組替えて、新しい教科「科学技術」を設けた。一般に工業高校の授業は普通科目と工業科目で構成されている。本校では学科により異なるが、普通科目を59～62単位、工業科目を15～17単位とし、新設教科の「科学技術」に含まれる9～11単位の授業科目を設定した。SSHを具現化する教科「科学技術」の中の授業は、1年生では「数理基礎」、[科学技術基礎]、「人と技術」であり、2年生では「先端科学技術入門」、「科学技術」で、全部で5科目である。また、本校における特色ある授業のひとつである課題研究において、新しい試みを行った。以下にそれぞれの授業科目の概要と特徴を説明する。

4.1 数理基礎

この授業は1年生が対象で、中学と高校の数学あるいは高校における数学・理科と工業の架け橋的な役割を持たせるものである。中学校では学んでいないが、高校の第1、2学年の理科および工業の授業で使われる数式を理解し、抵抗なく取り扱えるようにするために、関連する数学の基礎的な内容を勉強させる。たとえば、指数の計算、有効数字、ベクトル、常用対数、三角関数、式とグラフなどを扱う。普通高校における数学の教科書では、理科などの他の授業科目との関連が説明されずに数学の世界だけで記述されている。一方、工業高校の数学では実際に使う視点から、特定の応用における計

算技術が中心となっているものもある。このような問題意識から、生徒になぜ数学が必要かを理解させながら学ばせる「数理基礎」では、様々な数式がどのように使われるのかを意識させながら数学的論理を展開する授業を行っている。

4.2 科学技術基礎

この授業では科学・技術で扱われている基本的な法則や現象を、実験を行いながらそれを裏付けている理論を学んで、科学技術に対する生徒の興味と関心を高めさせ、かつ基礎学力と実験方法を習得させようとするものである。授業内容は力学、電気、化学、製図の各分野から構成され、理科の授業との関連を生徒に理解させている。授業は工業科の教諭と物理や化学の理科を担当している教諭が協力して実施する。科学・技術の最新の研究成果を反映した教材を豊富にとりいれているので、普通高校における理科の授業とは大きく異なった教育効果が得られている。

4.3 人と技術

工業高校においては「人・技術・環境」に関する教育が必要とされている。本校の授業「人と技術」では人と技術のかかわりについて、社会への影響にも触れながら生徒自身に考えさせることを目的とし、あわせて倫理観や技術者としてのセンスを学ばせている。特に技術者としてのセンスを涵養するために、見学会、東工大教官による特別授業、ロボットに関する実践的授業を行っている。また、倫理観については、違法コピーなどを例とした情報倫理、ヒューマンエラーや製品と安全性を題材とした技術者倫理などの問題を、まず教師から具体的事例をあげて説明し、その後、生徒に考察させている。

4.4 先端科学技術入門

現代の科学技術は、宇宙や加速器開発のように巨大システム化し、超LSIデバイスのようにブラックボックス化が進んでいる。このような傾向は、科学技術の世界で活躍しようとする高校生の意欲に対して、刺激を与える機会が身近なものにならずさせている。そこで、この授業では、生徒が先端科学技術に関する研究とその成果や、その基盤となっている学問に触れることにより、理科・数学の必要性や重要性を認識することで、理数系科目の学力向上をめざし、自然科学ならびに技術に対する意欲と挑戦への動機付けをはかることを目的としている。

授業は第2学年において、本校教諭と東工大教官が綿密な打合せをもとに一体となって行われる。理科や数学の基本的な内容に関連がある先端科学技術の成果をテーマとして設定し、1テーマを3回の授業で扱う。初回の授業では、本校教

諭からテーマについての基礎事項に関する説明と、生徒から理科・数学の授業で理解し難いことや、疑問に思っていることなどを調査して、準備的な指導を行う。2回目では東工大教官がたずさわっている研究内容や関連する最新の話題を教材として授業する。3回目の授業では本校教諭がまとめの意味で、先端科学技術と理科・数学との関係を説明する。

理科・数学の授業にみずみずしい科学技術の成果を教材として導入すると、高い教育効果が得られる。しかしながら、科学技術に関する最新の研究成果を教育現場に教材としてとり入れるには、高校の先生だけでは困難である。高校の教育を充実し、真の学力を有する生徒を育てるには、高校と大学とが強く連携した教育なしには実現できないと思われる。

4.5 科学技術

この授業は、前述した第1学年で実施する共通な内容を扱う「科学技術基礎」に継続するもので、専門性をやや高めている。たとえば、機械系分野の授業では原動機をテーマとして、工業科的な内容を理科と結びつけながら学習させる。つまり、工業科の内容では内燃機械、蒸気原動機、エネルギー変換と環境の話題を中心とし、これに関係する理科の内容である運動量、運動エネルギー、各種の保存則、熱力学を、工業科と普通科の高校教諭がお互いに協力して授業をする。複数の教諭が担当するチームティーチングであるので、生徒への教育効果の向上と同時に、教諭同士の意見交換が密になるため教育方法の改善が円滑に行われている。

4.6 課題研究

課題研究は第3学年の前半において、生徒自身がテーマをそれぞれ設定し、実験や試作を中心とする研究を行い、まとめとして研究発表会を行う授業である。その充実した内容と、実験と実習を重視する本校での勉強を総括する授業科目の趣旨からも、教育の特色を示すものの一つとなっている。SSHでの試みとして、課題研究における指導補助を担当するティーチングアシスタントに、東工大の学生を採用することとした。採用する学生は学部3年生あるいは大学院生である。これは高校生と年齢の近い学生諸君による指導が、高校教諭とは違った視点から期待できるからである。一方では、本校での指導する活動を通じて、学部学生に教育の重要性とその難しさを自覚してもらえるのではないかと考えている。実際のところ、ティーチングアシスタントの学生諸君からは、担当して有意義であったという感想が多く寄せられている。

5 おわりに

スーパーサイエンスハイスクールにより全国の高校で特色

ある教育が試みられ、理科・数学教育の研究が進むことが期待できる。また、大学や研究機関との連携が積極的に行われるので、高校における理科・数学の教育と、大学における自然科学系の教育との継続性も高められる効果もあろう。理科と数学の教育を本当の意味で質的に高めるためには、高校生が自然現象や科学と技術について、素朴な感動をいただき、それに続いて多くの疑問を持てるような教育環境を築く必要がある。この実現には、高校だけで閉じているのではなく、産業界や社会との協力を得てゆかなければならない。

スーパーサイエンスハイスクールでは実験や実習のような体験的学習がとりいれられている。これは設備や教育スタッフが充実している工業高校が得意としているところである。

最新の科学・技術の成果を教材としてとりいれた教育環境で、理科・数学の実力を身につけたセンスのある生徒が、新しい教育理念を持つ工業高校から輩出すると思われる。その実践例として本校の研究成果を実りあるものにしたいと考えている。

参考資料

・文部科学省ホームページ「科学技術・理科大好きプラン」,
http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/daisuki/

(2003年4月8日受付)