

◆基調講演

CDIO プログラムの総括 ―21 世紀のための技術者教育― (抜粋)

ヨハン・マルムクイスト氏

(CDIO Co-founders、チャルマース工科大学教授)

※PROFILE

CDIO イニシアチブの共同創設者の一人。チャルマース工科大学（スウェーデン・ヨーテボリ市）教育部長兼機械工学科教授を務める。

日本にお招きいただき非常にうれしく思います。皆さまとの会話を非常に楽しみにしておりました。本日は工学教育における概念について申し上げ、金沢工業大学、そしてアジアでどういったことが行われているかについても伺うことができれば幸いです。

まず、CDIO の出発点を振り返ってみたいと思います。マサチューセッツ工科大学(以下、MIT)で最初の会合が開かれました。その時点で私たちは、「業界で必要な技術者を大学が育てていないのでは」と考えていました。そこでは工学教育を改善し、「近代的な航空宇宙工学、産業などに必要な技術者を育ててほしい」という要望があり、MIT が航空宇宙学部門についての教育を見直しました。それが各部門、さらに世界各地の大学に広がっていきました。

現在、世界の技術者は新たな課題や国際的な問題に直面しています。いろいろな技術や機械、電気、ソフトウェア、化学、そういったものがすべて工学分野に結集されています。ところが分野ごとに教育を受けてきた技術者はそれに慣れておらず、どうすれば国際的な問題を解決できるのかが課題です。

もうひとつは新たな技術、サービスを組み込むことへの対応です。ナノ技術、ナノ分野などの新たな技術を、どう教育に活用するか、そして、技術者がこういった概念をどうやってマスターしていくのかを考えなくてはなりません。

3 番目はグローバル化への対応です。グローバル化により、技術者にこれまで以上に「世界各地で使用可能な製品の開発」が求められるようになりました。たとえばスウェーデン、アメリカ、中国、日本の学者は共通のプロジェクトに共通のソリューションを提供しなくてはなりません。工学教育では、このような状況に対してどのような準備ができるでしょうか。

ソリューション解決には、環境にやさしく、社会的にも経済的にも持続可能な技術を開発しなくてはなりません。技術者の教育にあたっては、設計・製造だけでは不十分です。

そのプロダクトを販売する企業の設計までを行う必要があり、いわば企業家を育てねばならないということです。

そして、デザイン、コミュニケーション力、チームワークの技能、人間力、誠実さ、創造力など、人として幅広いスキルも備えなければなりません。

数学の学力不足については、高校の教育における問題が指摘されています。あるいは実践的な力が不足しているといわれている国もあります。

学生だけでなく、教員に対する改善も必要です。教員は時間に制約があるなかで新しいことを教えなければなりません。クオリティの面では、新たなデジタル工学ツールが誕生し、それをどう活用するかという問題もあります。

こういった現状を目の当たりにし、さらに世界的に同じ問題を抱えていることを認識したのです。ですから協力の余地があり、大学同士が互いに学び、ともに改善できるという認識が芽生えたわけです。こうして、**CDIO** が生まれました。

技術者とは何でしょうか。彼らは、何をすべきかを理解しなくてはなりません。それから **CDIO** のコンセプト、私たちのミッション、目標について語りたと思います。そして、どのように改善すれば技能を身に付けさせることができるかについても話したいと思いません。

CDIO を開発したときにはこういう風に考えていました — 「表面を少し変えるだけではだめだ」と。たとえば、「チームワークがよくないのでチームワークについて少し検討しましょう」ではないのです。ミクロの観点ではなく、抜本的に基礎から見直そうと考え、技術者教育を白紙から見直すことにしたのです。まず、技術者は何をするかということから取り組みました。

航空工学者のセオドア・フォン・カルマンはこう言っています — 「ものについて調べるのが科学者であって、エンジニアはよいものをつくる」、またエジソンは「発明に必要なものは創造力とガラクタの山があれば十分」と言っています。

エンジニアは新しいものをつくり、製造します。今までなかったものをつくるために分析や知識は重要ですが、それだけでは不十分です。分析力や知識以外の「創造力」が必要です。技術者は、訓練して創造力を手に入れなければならないのです。

エジソンは「ガラクタの山」の中からいろいろなものを発明しました。エジソンが言うガラクタの山に匹敵するものとは、頭の中にある知識なのです。その知識を使い、今までない新しいものをつくっていくということです。

次に工学教育が今どのような状況にあるかですが、もしかしたらすでに創造力や知識を訓練しているかもしれません。そうであれば、変えないほうがいいのかもかもしれません。その点について分析をしてみました。

1930 年代以降の工学教育を分析したところ、多くの国で業界に長くいた人が教育を行っ

てきたこと、デザインマネージャーや製造マネージャーが教員になって教えていたという事実がわかりました。彼らには実践の経験があり、工場運営も知っていました。そして、あたかも料理本のように「こういうふうにやればいいのだよ」と教えました。

その手法は機能的な工学教育ですが、理論的、知識的には強力なものではありませんでした。第 2 次世界大戦後、工学教育にひとつの革命が起きました。たくさんの科学者が入ってきたのです。彼らは新たに、数学、技術的な基礎を教えました。それによって工学教育は発展し、今日のような分析やシミュレーションが可能となりました。しばらくはこれでよかったのです。工学教育において、実践を経験した教員と科学的なアプローチ方法を知る教員が、深さと広さと、分析と理論を提供したのです。

その後、多くの古い教員が退職し、同じような能力を持った教員、特に狭い分野で深い知識を持った研究者が増えました。それによって工学教育は分断化され、より分析中心になり、統合的なアプローチが欠如したのです。スウェーデンやアメリカ、イギリスも同様です。

細分化されたことで統合的なアプローチが必要となりました。元に戻るのではなく、実践的なアプローチに行かなければならない、と。工学教育として、分析の深さと、広いスキルと、そして実践を組み合わせることになったのです。CDIO がまさにその提案でした。

「技術的基礎の深い知識をマスターした卒業生を出したい」という目標が立てられました。工学教育の大学はそういうことを得意としていて、新たなシステム、プロセスを運用しました。

ほかに、そのデザインの戦略的な意味合いを理解することも重要です。デザインを決定した場合、そのプロダクトのライフサイクル、社会にとってどのような意味を持つかも理解しなくてはなりません。前者が伝統的に工学大学が得意とするところ。後者が重要な点として私たちが強調していることです。

3つのことを自問しました。エンジニアの専門家としての役割は何か、そして専門家として詳細な各種プログラムを設計するためには、知識、機能、属性などのうち、何が必要か。そして 3 番目に、どうやって学生を教育すれば、こういう属性、技能、知識を身に付けさせることができるのか。その結果、学習の評価によって工学教育を行うことになったのです。

まず、専門家としての役割ですが、技術者は考え、そして設計し、行動し、操作・運営を行います。これが CDIO の概念です。

工学を、プロダクトのライフサイクルの出発点、システムの出発点としてとらえるのです。ニーズの特定から始まり、最終的には使い終わった製品をリサイクルするというプロセスまで、いろいろな活動にエンジニアが関与します。

顧客のニーズ、提供されている技術、企業の戦略、技術的なビジネスプランを出発点として理解する、それから、設計の段階で図面やアルゴリズムをつくる、より詳細な製品の

作業、行動、製造であったりコード化であったり、デザインにとって適切なことですね。さらに操作と運営と、最終的には製品の使用終了にもかかわります。これが CDIO のライフサイクルです。

エンジニアたちはこういうことに対して準備をします。今後どこかの段階、たとえば、アイデアを出すところ、設計のところ、行動、あるいは運営のところの専門家になるわけですが、それでもライフサイクル全体を理解しなくてはなりません。

誰と協力するのか、自分の役割は何か、影響はどういうところに及ぶかを理解しなくてはならないのです。

以前は、考え出すところ、あるいは実行するところにはあまり関与していませんでした。現在はこういった広い考え方を取り入れて授業を行うべきだという方針を導入しています。ただし、それだけでは不十分です。こういう脈絡をベースに教育を設計するのは不十分で、もっと理解する必要があります。実行について、あるいは設計について、どういう教育が必要なのかを、より詳細に考慮し、知識、技能、そして態度を身に付けさせるため、すべてを考えなくてはならないのです。

エンジニアが知るべきことをあげてみましょう。コミュニケーション、チームワーク、倫理、実行…たくさんリストを作成できますが、習熟度を考えて優先順位をつけます。そして、ステークホルダーに対して、優先順位が正しいかどうか、あるいは変える必要があるのかを確認すべきです。

そして CDIO が示しているのは分野を超えた知識、例えば機械工学、電子工学、土木工学などの各知識だけを見るのではなく、広い分野間での協力を得ることです。そのうえで、すべてのエンジニアに共通するものは何か、コミュニケーション、チームワーク、設計プロセス、これは機械工学、電気工学、あるいは土木工学の間で共通しており、互いに協力の余地があるのです。

この結果、CDIO のモデル、あるいは定義に基づいて CDIO シラバスができました。CDIO シラバスでは、ニーズを特定し、最終的に製品が使用終了するまでかわります。

CDIO シラバスは、7つのレベルに細分化されています。プログラムデザインだけではなく、コースデザインまで、詳細にわたって指示・サポートしているということをご理解ください。

そして、興味深い点として、「こういうことをしたい」という希望リストがあります。基本的にはすべてを達成しなくてはならないのですが、要件を検証し、優先順位をつけねばなりません。そして開発すべきものと今あるもののギャップ、解離はどの程度かを確認する必要があります。

CDIO シラバス構築の多くは作業の検証でした。卒業生、教員、学生に対して、習熟度の希望レベルはどういうものであるかということを知りたいというのを聞いていかなければならなかった。一般

的に私たちが行ったのは、プロフィール、必要なスキル、それについての調査です。

卒業生の学士レベルは何を身に付けることが望ましいかというプロフィールを検討しました。身に付けるべき重要事項は工学論理、分析論理、コミュニケーション能力でした。

調査によって優先順位が表れたわけですね。私たちの調査・検証で、工学教育に何が重要なのか、分析が最も重要であると考えられていることが立証できました。デザイン、コミュニケーション、チームワーク、これも同じくらいの習熟度が必要であるということが評価されたわけです。こういったものは当初はあまり重要視されていませんでした。我々自身もそう思っていましたし、ステークホルダーも同じように考えていたのですね。

もちろん、分析とか知識は重要ですけど、それは今、変化を加える必要はないと思います。むしろデザインコミュニケーション、チームワークを重視していかなければなりません。これについては世界的な調査でも共通の見解がありました。

学生も教員も「時間がない」という問題もあります。「いかにしてやるか」を考え、より効率的に教授する必要があるのです。教育の設計をする際、根本の技術的な部分が大事であり、それを CDIO の枠組みのなかでやっていくということです。

いくつか特徴があります。カリキュラムはまずコースに基づき、CDIO が組み込まれたかたちでなくてはなりません。そして、デザイン、テスト、プロジェクト、これらが入っているもの、しかもカリキュラムのなかには、プロとしての技能、たとえば、チームワーク、コミュニケーション、倫理などが実際の学科の科目に組み込まれていなければなりません。さらに、教授法、アクティブラーニング、研究にもとづいた学習などを組み込むこと。最後に、品質保証があります。短期間ではなく、5年、10年を見越したものであるということです。

CDIO 教育の特徴は、デザインビルド・プロジェクトがあるということです。学習は、プロダクト、あるいはシステムをつくるということで行われるのです。ほかの技能のプラットフォームとしても重要ですし、コミュニケーションチームワークの基盤にもなります。実際にデザインや工学を行う際、とても重要になってくるからです。決して「すばらしいプロジェクトのみをやりなさい」と言っているわけではありません。そもそもが、1年次から4年次のカリキュラムのなかに組み込まれているということです。

最初は簡単に紙1枚のアイデアから始め、そのあと、設計のプロセスから研究、試作、評価を行います。もう少し複雑なのが次の段階で、実際に製造、再設計を行います。最終的には複雑な製品の設計が目標です。設計は単にひとつのプロジェクトだけではなく、いくつも行っていくという考え方です。

もうひとつの局面では、デザインビルドのトレーニング、持続可能なイノベーションの結集に役に立ちます。こういった要請に対しては十分に伝えてきたと考えています。デザインビルドを実行するためには、再思考が必要です。学習する場所は CDIO をサポートする環境でなくてはなりません。

我々は、知識とスキルは別々に教えるべきではないと提案します。一番効率的なやり方は統合して教えることだという考え方です。エンジニアリングにおけるコミュニケーションは一般的なものとは異なり、さまざまな局面を、実際の科目、モジュールのなかに組み込まなくてはなりません。適切な技能を開発していくためには、知識を深めていくと同時に、一般のスキルも向上させることを提唱しています。これはどういうことでしょうか。ひとつは、科目ベースでの学習です。もうひとつは問題解決の実地体験です。学科の知識と、それを実世界で応用する能力を一緒にやっていきたいということです。

いろいろな研究や方法があります。問題解決の実地体験型ということですが、これによって、さまざまなものを統合、応用、問題提供できるようになります。それぞれの条件に応じた形で、あるいはトレーニングスキルなどを見ていくことができます。

次に、これらを結びつけることができます。結びつきにより、たとえば熱力学をどうすれば応用できるのかなど、そのトピックがどういうものになるのかを理解できます。

CDIOにおけるコミュニケーションというのは、通常の英語の授業を選択することとは違います。科目に結びついた工学エンジニア専用のコミュニケーションであり、技能が組み込まれ、技術的な知識と分けることはできないということです。

実際にエンジニアリングに対して意思を伝えることができるようにするということ。どうやってアイデアの議論をするのかということや、どうやってホワイトボードなどを使ってコミュニケーションをとれるようにするのかということを考えなくてはなりません。

同様のことは、チームワークや倫理に関してもいえます。CDIOの「統合されたカリキュラム」という考え方です。これはシステムチックにデザインされています。たとえば、コースに対して問題の解決が結びつけられている。それに加えて、プログラムの学習がひとつのコースだけでなく、複数に結びついています。

ほかに統合技能としてどんなものがあるのでしょうか。英語でのコミュニケーションというのがあるかもしれません。英語コースというのではなく、英語が別のコースに組み込まれていることによってコミュニケーション技能が改善されるということです。教員も統合機能の学習に貢献しなくてはなりません。専門科目だけではなく、他の分野にも目を配る必要があります。分離した形ではなく、ほかの教員と一緒に協力しなくてはなりません。

統合学習にはリーダーシップもあります。エンジニアリングの学生が、4年間の教育でどのようにリーダーシップのトレーニングを学ぶことができるのでしょうか。こちらはMIT工学リーダーシッププログラムの例です。エンジニアリング科の学生は、2~4年次まで、通常のプログラムに加えて1週間に約8時間のリーダーシップのトレーニングを共通科目として学びます。

もうひとつの例として、数学の改革もあります。工学での数学プログラムというのは、伝統的なやり方で教えられています。工学における数学は、シミュレーションや最適化な

ど、多岐にわたりますが、我々の学校では十分ではありませんでした。

そこで、数学コースを再設定し、モデリング&シミュレーションを早期に導入しました。この試みは数学の教育を変えたいということで行われました。数学とエンジニアサイエンスコースの結びつきを早い段階から教えています。

もうひとつ指摘したいのが、自分なりの CDIO をつくっていただきたいということです。もうすでに取り組んでいることに加え、何か皆さんにとって関係性のあるものをピックアップして使っていただきたい。ほかのものは捨ててもけっこうです。CDIO はある意味ツールボックスのようなものとして使っていただきたい。今度、次の段階に進むときに、現状がどうなっているのかという評価に活用していただければと考えています。

最後に、「CDIO は何か」ということについてのまとめです。エンジニアリングの学生が何を学ぶべきか、それは、「真の工学を実践できる技術者を育てる」ことであると考えます。工学教育改革の方法論でもあります。CDIO はシラバスと 12 のスタンダード分野があるコミュニティであり、107 の大学が世界中で活用し、アイデア、知識、経験を共有しながら前進を続けています。本日はご清聴ありがとうございました。