

# 資質・能力育成を指向し文脈を基盤とした MINT 教育の学習プロセス —ドイツ・キール大学 IPN 「NaWi造船所」を例として—

寺田 光 宏 ・ 磯 部 征 尊<sup>1)</sup>

## Learning process of MINT education based on context oriented towards competencies building

Mitsuhiro TERADA ・ Masataka ISOBE

### Abstract

Germany has MINT (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften, Technik) educations based on the context oriented toward building of competency. This paper aims to clarify the outline of this one example "Schwimmen, Antreiben, Steuern" program and its learning process and obtain suggestions to the educational site in Japan. This program summarized science, technology and information science in one context from the viewpoint of "shipbuilding", and embodied one direction of MINT education. However, the definition of competency was inadequate, especially the competency cultivated by information technology were not clear. In promoting such science and technology education in Japan, we believe that we are able to instruct teaching based on context oriented toward building of competency by the method of curriculum management If we can tentatively clarify the capabilities of mathematics, information science, natural science and technology.

### Key words

Competency, Context MINT Learning process NaWi

## 1. はじめに

### 1) 研究の背景

現在、諸外国において STEM (Science, Technology, Engineering and Mathematics) 教育と呼ばれる科学、技術、工学、数学の教育が非常に盛んであり、日本でも近年盛んに諸外国の現状が紹介され、研究や教育実践が盛んに行われている。その特徴としては、科学技術の開発競争力を向上させる視点から教育政策、教育課程や方法が論じられ、幼稚園・保育園教育から、初等教育、中等教育さらには高等教育までの広い課程で研究及び教育が実践されている。

ドイツにおいては、数学や情報科学も含む科学や技術、特に医療技術、エネルギー、情報技術やバイオテクノロジーなどの未来志向の専門分野・職業領域を Mathematik (数学)、Informatik (情報科学)、Naturwissenschaften (自然科学) と Technik (技術) の頭文字を取り、MINT と呼び、これに関する教育を MINT 教育という (BMBF, 2012)。ドイツ連邦教育研究省による MINT 振興とキャリアのためのガイドである資料 Perspective MINT (BMBF, 2012) によると、ドイツ

1) 愛知教育大学

の国としての方針が以下のように窺える（寺田，2015）。

- ① MINT 教育は初等中等教育だけでなく幼少の頃から MINT 教科（数学，情報科学，自然科学，技術）に親しませる。これにより将来 MINT 分野を専攻する学生の数を増やす。特に女性を MINT 系の職種割合の大幅増加を目指し，経済界・学会・メディア等を含めた団体・機関が就業促進全国協力協定を結んでいる。
- ② 教育研究連邦省や研究機関による MINT プロジェクトや企業や民間の具体的な取り組みを広く紹介し，専門能力開発のための魅力的な読み取りやアイデアを提案し個人レベルでの普及をも目指している。

ドイツにおいても多くの国と同様に，非常に多様な形式で科学・技術教育が実施されているため，総合的に論じることが難しい。ただ，一般にドイツにおける MINT 教育は，特別に新しい教科をもうけるのではなく，また，教科横断的な学習でもなく，MINT それぞれの教科の授業を確実に取り組むことが重要とされている（吉岡，2018）。

このような環境の中で，ドイツ・キール大学附設自然科学教育研究所（以下，IPN と略）を中心として実施された，上記とは異なる MINT 教育がある。これは資質・能力の育成を指向し文脈を基盤とし，中等教育化学の質的改善を目的とした Chemie im Kontext（以下，ChiK と略）プロジェクト（寺田，2016）の研究及び実践のグループが中心となり成されたものである。この IPN のグループで開発され実践された“Schwimmen, Antreiben, Steuern”（浮かべ，動かし，操縦する：著者訳）（Stein & Lüthjohann, 2014）プログラム（寺田，2015）は，一般的なドイツの MINT 教育とは異なり，教科別に行われているのではなく，自然科学，技術，情報科学が「模擬船を浮かべ，動かして，操縦する」という文脈で統合されている。同時に，基本概念を中心とした資質・能力の育成する側面をもつ。

次期の中学校学習指導要領解説（文科省，2017）では，教科等の目標や内容を見通し，学習の基盤となる資質・能力や現代的な諸課題に対応して求められる資質・能力の育成のために，教科等横断的な学習を充実することが求められ，カリキュラム・マネジメントを推進している。そのため，今後の日本における科学・技術教育を検討するにあたり，科学・技術教育における資質・能力育成という視点及び教科等横断的な学習という視点から，内容及び学習・教授プロセスを分析することは急務であると考えられる。

## 2) 目的

資質・能力育成を指向する文脈を基盤とする学習プロセスという視点で，ドイツにおける MINT 教育の動向の一端をキール大学附設 IPN（自然科学教育研究所）であるにおける“Schwimmen, Antreiben, Steuern”プログラムの概要を整理・分析し，その学習プロセスを明らかにし，日本の教育現場への示唆を得ることを目的とした。

## 2. “Schwimmen, Antreiben, Steuern”プログラムの概要

### 1) 「NaWi 造船所」の文脈（コンテキスト）における学習プロセス

本プログラムは，IPN が進めている文脈に基づく科学クロスカリキュラム開発プロジェクト NaWi aktiv の一環として開発された。NaWi とは，ドイツ語の Naturwissenschaften（自然科学）の略でもあるが，統合的な科学としてのプロジェクト名としている。（また，aktiv は「積極的な」などの意味である。）

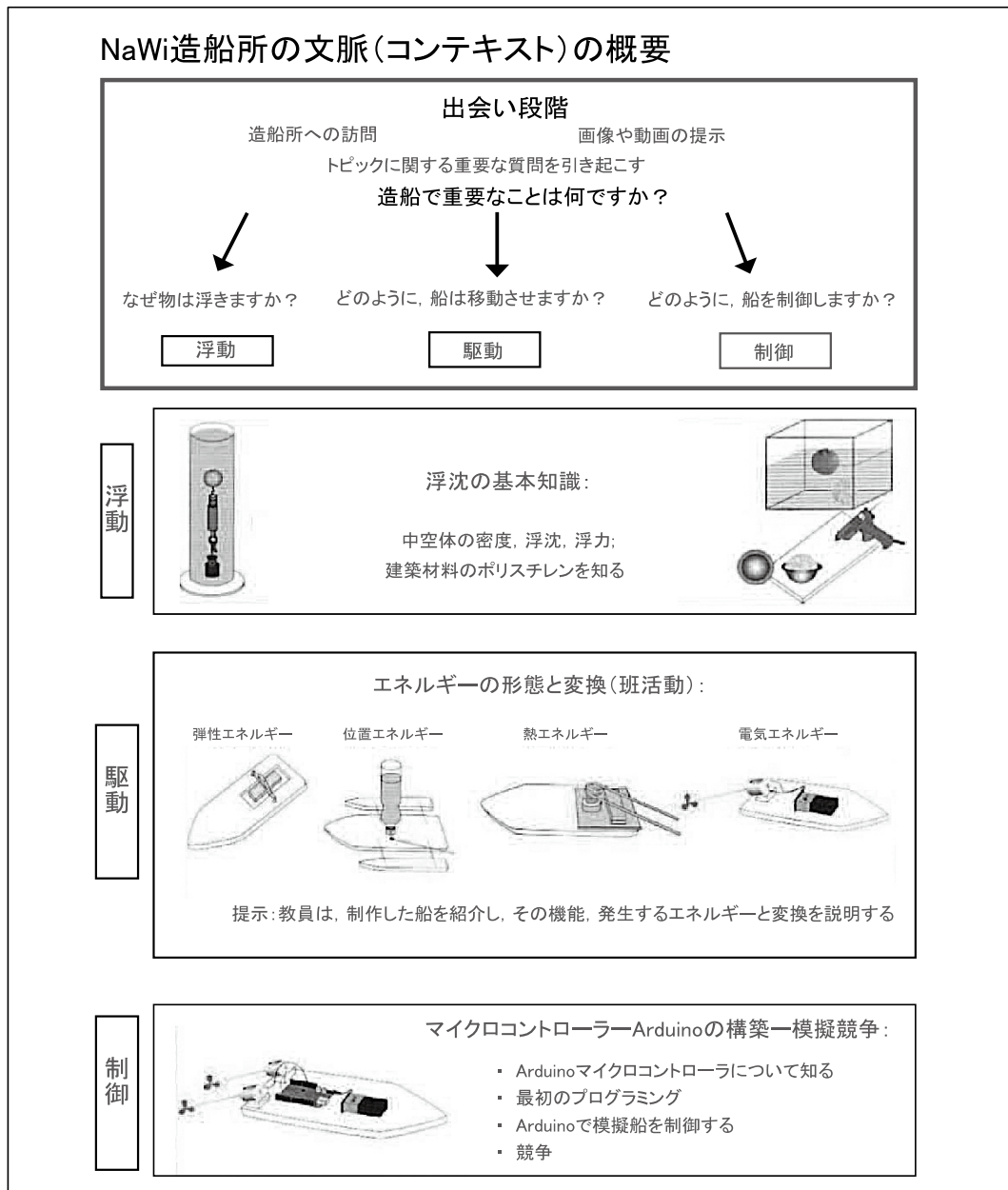


図 1：“Schwimmen, Antreiben, Steuern” プログラム「NaWi 造船所」の文脈の概要 (Stein, Lüthjohann, 2014) 著者が訳出した。

対象学年は、第 7 学年～第 10 学年 (日本のほぼ中学校レベルに対応) を対象とし、生徒用テキスト・実験書の形態を採っている。

“Schwimmen, Antreiben, Steuern” プログラムの「NaWi 造船所」の文脈 (コンテキスト) の概要を図 1 に示した。本プログラムの全体的なテーマとしての文脈は、「造船で重要なことは何ですか？」であり、具体的な模型船を作るのに何が大切かを明らかにしていく。この過程で、(1) 浮動 (2) 駆動 (3) 制御 の文脈で学んでいく。このプログラムが開発されたキールはフィヨルド

からなる良港をもち、国際的な船舶の行き来が非常に盛んであり、このような文脈は自動車でも可能で検討したが、地域性を活かした文脈を構成したため全体がスムーズな展開が可能である。

学習は、図2に示すCHiKの学習サークルの段階で進められる。

段階1：「出会い」段階とはこの段階であり、学習者自身と関係のある情報（例えば、日常生活や先端技術など）と接することにより「自ら疑問を見付ける」がこの段階である。ただ、この段階では科学的に扱える問いになっていない場合がある。

段階2：「好奇心と計画」段階では、造船のための提起された問いの発展及び問題の明確化をする。ここでは、浮動、駆動、制御が主な問いである。

段階3：「習得」段階では、多様な実験や製作を可能な限り生徒が自力で解決・適切な環境・多様な方法を許容する。そのため、教師は適切な環境を整える。方法の多様さは前提条件であり、体系的、自主的、知識獲得を目指した有意的なチームワークやコミュニケーションが成功のために必須である。

段階4：「結び付けと深化」の段階では、それぞれ浮動、駆動、制御の文脈で得た概念・内容を構成する要素と一般的な事柄の結合・他の概念との橋渡しをする。主要で本質的部分は断片ではなく、事例に基づいた文脈に従って習得するものであるため、最終段階では、一方では内容を構成する要素を結合する。また、他方では得た知識を一般的な事柄へ関連付け、また応用できる知識の基礎を発展させてゆくことを目的とする。

また、以上のように文脈に従い順に学習するだけではなく、必要な部分を学習することが可能な形態をとっている。

## 2) 「NaWi造船所」が育成を目指す資質・能力における学習プロセス

NaWi aktiv プロジェクトの一環である本プログラム「NaWi造船所」を含むNaWiプロジェクトにおいて、育成する資質・能力分野の1つである専門知識である「基本概念」は、ドイツKMKの教育スタンダードの物理、化学、生物を参考にして、「エネルギー、物質、相互作用」の3点と規定している（中澤，寺田，2017）。「NaWi造船所」の具体的な学習プロセスを表1に示す。それぞれ（1）～（3）の文脈において次のような基本概念等の形成と活用を目的とし、各段階を学習のプロセスを以下に記す。

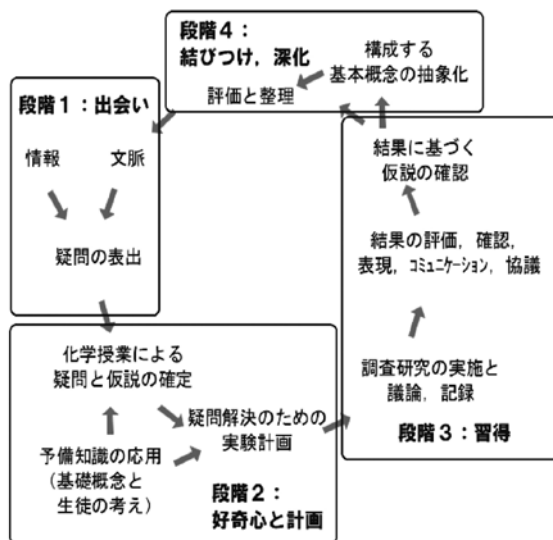


図2：CHiKの学習サークル（寺田，2016）

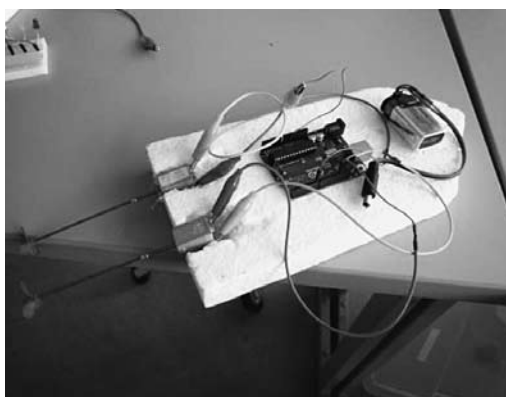


図3 実際に作成された模擬船

表 1 “Schwimmen, Antreiben, Steuern” プログラム「NaWi 造船所」の学習プロセス (Stein, Lüthjohann, 2014) に基づき著者が作成

	各文脈の内容と学習プロセス
<p>(1) 浮動 船はなぜ浮くのか？</p>	<p>1. 密度                      (1) 異なる材質で、同じ質量の浮き沈み                      ① [仮説形成] 貨幣, リップ糊, コルク片の水への浮き沈みを予想する。                      ② [条件提示] 質量を比較した結果より浮き沈みを予想する。                      ③ [実験] 同じ質量のコルクは浮き, 貨幣とリップ糊が沈むことを確認する。                      密度の考え方の導入                      (2) 異なる材質で、同じ形の物体 (球) の浮き沈み                      ① [実験] 木材, 発泡スチロール, 粘土からなる同型球を水に入れ, 浮き沈みを確認する。                      ② [実験] 木材, 発泡スチロール, 粘土の同型球の質量を比較する。                      ③ [考察] 考察する材料 (密度の表) を増やし, 浮く場合は水より密度が小さいときであることを明らかにする。                      2. 蓋の浮き沈み                      (1) 鉄は浮かぶ?                      ① [仮説形成] 鉄製蓋の浮き沈みの予想とその根拠を説明する。                      ② [実験] 蓋はなぜ浮いたり沈んだりするところがあるのかを説明する。                      ③ [考察] 穴の空いた発泡スチロールを詰めた蓋とスポンジを詰めた蓋                      (2) ① [活用] 銅製の船 ② [活用] 粘土船等 ③ [活用] 皮付きミカンと皮なしミカンの浮沈実験                      3. 浮力                      (1) [事例提示] 浮力体験: 水槽に空の容器を沈め, 浮力を体験する。                      (2) [実験] 物質を沈め, こぼれだした水の体積と質量を計測する。                      (3) [実験] 上記に基づき, 浮力を計測する。                      (4) [実験] 別法: 浮力計測実験                      4. 淡水と塩水の濃度の差による浮き沈みの違い                      (1) [実験] 淡水と塩水で濃度の差による浮き沈みを確認する。                      (2) [実験] 比重計を参考に自作で比重計を作成する。                      (3) [活用] 乾舷標示                      5. 参考: 浮き沈みの参考写真                      船載用小型手こぎボート, 死海, オウムガイとその断面, 軍艦, 潜水艦の浮沈</p>
<p>(2) 駆動 船をいかに動かせるか？</p>	<p>1. 準備作業                      (1) 建材用発泡スチロールの特徴を知る                      ① [実験] ポリスチレンの生成実験とその原理                      ② [技能] ポリスチレンから模型船を作る技能として, 発泡スチロールの作成方法, グルーガン, 発泡スチロールカッター, 接着剤の使用方法を学ぶ, 模型船の試走水槽の作成方法 (例)                      2. [ものづくり] 以下の異なる種類のエネルギーを利用して推進力を得る模型船の製作                      (1) 弾性エネルギー: ゴムと水車を利用し, 水車の回転により推進力を得る。                      (2) 位置エネルギー: 水を入れたペットボトルを模擬船に立て, 放出する水により推進力を得る。                      (3) 熱エネルギー: ポンポン船. アルコール燃焼を利用し, 管内の水の噴出により推進力を得る。                      (4) 電気エネルギー: 電池の仕組みの確認. モーター及びスクリューにより推進力を得る。</p>
<p>(3) 制御 船をどのように制御できるか？</p>	<p>1. [抽象化] Arduino のプログラミング                      (1) Arduino のハードウェアの概要: ボートの解説及びコンピュータとの接続方法                      (2) プログラミングの解説:                      (3) 簡単なプログラミングとその実践                      (4) デバック方法                      2. [試行錯誤] 異なる制御及び駆動タイプの模型船の製作                      (1) 2つのスクリューによる制御                      (2) 1つのスクリューと舵の制御による模型船の製作                      (3) プログラミング: それぞれのタイプのプログラミング                      3. [分解][評価] 模擬船をプログラムで制御し, 元の出発地点に戻るようにする。                      (付録) ささまざまな模擬船の例, 工具の例とその使い方</p>

### (1) 浮動

本文脈では、船はなぜ浮くかという課題において、浮沈の原理について科学的に説明できることを求められている。そのために、異なる材質で同質量、同型の物体の浮き沈みにおいて、仮説を形成し、実験を計画、実施し、結果を処理し考察・結論を導く学習をする。これにより、浮かばせる物体の密度が、浮かばせたい物質（この場合は水）の密度との関係を明らかにする。また、鉄の蓋の浮き沈みにおいて、蓋の中が空の場合、発泡スチロールまたスポンジを入れた場合などの浮沈から浮かばせたい物体が水を除けることが関係あることを確認する。その後、この除いた水の体積や質量との関係から浮力の概念を導く。このように、物理や化学の基礎となる密度や浮力について実験を通して定性的及び定量的に学習する。これにより、物質が浮いたり沈んだりすることを物質の密度の概念を核とした基本知識で整理している。これは、「物質」概念の形成を目指している。

最終的に、浮力は海水の濃度にも影響され、実際の船が様々な水域でも安全に航行できる予備浮力などを示す標示（乾舷標示）について学ぶ。

### (2) 駆動

船の本体である発泡スチロールの特徴について学習した後に、駆動させるエネルギー（運動エネルギー）への変換を学ぶ。駆動させるためには、輪ゴムや自転車のチューブなどの弾性エネルギー、ペットボトルからの水の落下を利用した位置エネルギーや模型用電気モーターを利用した数種の例が示され、エネルギー変換を定性的に学ぶ。このように、船を駆動させるための弾性エネルギー、熱エネルギーなどのエネルギー形態とそのエネルギー変換を学習し「エネルギー」概念の育成を目指す。

また、本プロジェクトでは、エネルギーの変換を扱うだけではなく、エネルギーを如何に運動エネルギーに変換させることができる装置を工夫し試行錯誤しながら製作していく側面が強い。また、製作活動のために、発泡スチロールの加工方法やグルガン等の使い方等の技法も示されている。そのため、(2) 駆動においては、「自然科学」的な側面だけでなく、「技術」的な側面も持ち合わせている。

### (3) 制御

製作した船をマイコンで制御できるようにする。本プログラムでは、マイコンに Arduino を使い、簡単なプログラミングを紹介している。

例えば、2つのモーターと2つのスクリューで方向を制御したり（図3）、1つのモーターで推進力を舵で制御したりする方法が紹介されている。

最終的には縦5m 横4mの試走用水槽（図4）で、例えば、出発点に戻るような制御を目的とし、単にプログラム技術の習得を目的とせず、制御という経験を重視しているように見える。

これらは、NaWiの基本概念には含まれない



図4 試走用水槽

が、模擬船をプログラムにより制御し、論理的な思考の育成を目指していえると考えられる。これは、「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」であるプログラミング的思考（文科省、2016）と見ることもできる。このプログラミング的思考は、コンピュータに意図した処理を行うように指示することができるということを体験させながら、将来どのような職業に就くとしても、時代を超えて普遍的に求められる力として（文部科学省、2016）の資質・能力である。これは、資質・能力の3本柱の中の思考力・判断力・表現力等に位置づけられ、発達の段階に即して育成することとなっており（文部科学省、2016）、理科における問題解決の力や探究と大いに関係があり、相補的に育成が必要な資質・能力と考えられる。

具体的には、生徒たちには、「①コンピュータの手続き的な制御構造を理解できる〔抽象化〕」「②目的やねらいを持って自分の作りたい製作物を構想し、試行錯誤して設計することができる〔試行錯誤〕」「③設計通りに、目的やねらいに沿って製作できているかを確認することができる〔分解〕」「④製作物の改善点に基づき、計画と評価を行うことができる〔評価〕」に関するプログラミング的思考（論理的な思考）の育成を目指していると考えられる。

また、ここで使用されている Arduino は、マイコンと入出力ポートをもつ基板とプログラム開発環境をもつソフトウェアからなっている。基板は、各種センサからの入力および LED やモーター・他の駆動装置の制御が可能である。ソフトウェアは、マイコンのプログラミング環境とライタからなる。簡易なプログラムによりモーターの制御が可能である。以上の点より採用されている。

### 3. 「NaWi 造船所」のその他の特徴

文脈を基盤としたストーリー及び「エネルギー」「物質」等の基本概念育成を補完し、学習がスムーズに進むように、次のような工夫がされている。

- ・各ページには丁寧な注釈があり、科学的概念や製作のコツなどが適宜示され多くの学習支援がある。特に、製作のコツについては、工具の使用方法や治具の紹介もされている。そのため、生徒自身や指導教員が対応しやすい形態である。
- ・生徒自身が試行錯誤して学習できるように豊富な資料が提示されている。
- ・図1に示してあるように、直感的にも理解しやすいように多様なイラストが配置されている。

### 3. おわりに

現在本プログラム「NaWi 造船所」は、ドイツのシュルスヴィツヒ・ホルシュタイン州において選択科目として扱われており、まだ試行段階である。また、本プロジェクトのように物理、化学、技術、情報といった異なる MINT 分野の内容を一つの文脈に埋め込むための工夫は、学習者にとって、

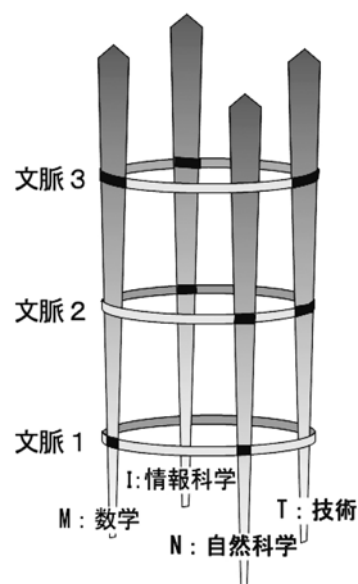


図2：MINTの資質・能力と文脈との関係

1つの文脈ですべての分野の資質・能力の育成を目指すのではない。例えば、本プログラムのように「文脈2」のI、NとTの育成を目指すことが考えられる。

それぞれの分野が他の分野とどのようにかかわっているかが明確になり、学習プロセス全体に一本の柱が立ち学習しやすいと考えられる。MINT 教育の一つの方向性を具現化していた。ただ、基本概念、文脈、多様な授業形式を基本方針としている CHiK プロジェクトやドイツ・教育スタンダードと比較すると、各分野の基本概念などの育成したい資質・能力の定義や吟味が不十分で、特に情報技術で育成される資質・能力が明確ではなかった。

日本においてこのような科学・技術教育を推進する場合、数学、情報科学、自然科学、技術のそれぞれの資質・能力を明らかにできれば、カリキュラム・マネジメントとして、文脈を基盤とする指導が十分に可能になると考えられる（図2）。また、学習プロセスの多様性や共通性を整理する必要もある。次期小学校学習指導要領理科においてプログラミングが推奨されている。同様なプロジェクトやテキストを日本において開発するとき、教育課程のどこに位置づけるか大きな問題となる。

さらに、開発者の Stein 氏と Lüthjohann 氏が講師をする本プログラムの教員研修会において、この中で最も難しいと思われる Arduino のプログラミングとそれを使い実際に模型船を制御することが行われ、ポイントを押さえた教員に対しての普及活動が行われた。ただ、最近よく使われている操作しやすいビジュアルなプログラミングソフトの利用も検討する必要がある。

日本で具体的にこのような実践をして行くには、上記のような大きな課題が残されている。

## 付記

本稿は、日本科学教育学会研究会東海支部「資質・能力育成を指向し文脈を基盤した MINT 教育の学習プロセス—ドイツ・キール大学 IPN「NaWi 造船所」を例として—」で発表した内容を加筆修正したものである。本研究は JSPS 科研費 JP16K01014, JP16H03069 の助成の一部を受けて行った。

## 引用文献

文部科学省 (2016) 小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について (議論の取りまとめ), 小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議。

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm)

(2018 年 4 月 25 日確認)

文部科学省 (2018) 小学校学習指導要領解説 理科編. [http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/micro\\_detail/\\_\\_icsFiles/afiedfile/2017/10/13/1387018\\_5.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afiedfile/2017/10/13/1387018_5.pdf) (2018 年 4 月 25 日確認)

中澤怜子, 寺田光宏 (2017) ドイツにおける資質・能力を指向した総合理科 NaWi プロジェクト, 31 (8) 日本科学教育学会研究会, 81-86.

Stein, G., & Lüthjohann, F. (2014): Schwimmen, Antreiben, Steuern, Materialien für den naturwissenschaftlichen Wahl- und Wahlpflichtunterricht: Klassen 7-10, Schneider Verlag GmbH.

寺田光宏 (2015), ドイツにおける科学・技術教育 (MINT 教育) について—キール大学 IPN を例に—, 科学教育研究, 39(2), pp. 134-135.

寺田光宏 (2016) 「資質・能力」と「授業実践」との関係についての一考察—ドイツ Chemie im Kontext プロジェクトを例として—, 理科の教育, 2, 26-29.

吉岡亮衛 (2018) ドイツの MINT 教育, 長洲南海男, 教科と内容構成新ビジョンの解明—米国・欧州 STEM・リテラシー教育との比較より—, 科学研究費補助金最終報告書, 175-191.