

「超伝導」に関する IT を活用した新しい理科教材の開発†

浜井 三洋・留野 泉*

秋田大学教育文化学部

和田 光弘**

長崎大学大学院医歯薬学総合研究科

上田 晴彦・小松 正武・山岡 剛***

秋田大学教育文化学部

秋田大学教育文化学部内に新たにインターネットのサーバーを構築し、そこに先端科学の理科教材としての「超伝導」に関するウェブページを開発した。このウェブページには静止画像や動画も置き、生徒に理解しやすいようにした。また、説明文中でむずかしいと思われる用語については、クリックすると新しいウインドウが開いてクリックした用語についての解説文を読むことができるようにした。さらに、このウェブページの内容を学習しても理解しにくいことがらについて、質問のメールを著者らのグループへ送り回答をもらえるようにした。このように作成した「超伝導」に関するウェブページを秋田大学教育文化学部附属中学校の科学部の生徒に見てもらい、アンケートをとった。その結果、「超伝導」の原理や応用としてのリニアモーターカーなどの説明の構成や内容についての改善点などが浮かび上がってきた。

キーワード：インターネット、ウェブ、ウェブページ、超伝導、理科教材、アンケート

1. はじめに

インターネットの普及に伴って web 上での学習システムの開発がなされてきている。たとえば、6 段階のレッスンとレッスン内容に沿ったエクササイズから構成されている栄養学に関する web 学習システムの構築が報告されている。¹⁾ ここでは計算、

思考、応用力を要するレッスンと練習問題では総合評価得点が低く、基礎的なレッスンでは総合評価得点が高い結果が得られている。また、実際の学習システムでは現場の教師の関与が欠かせないため、教師が利用できる web ベースのシステム開発ツールの構築の試みもなされている。²⁾

このような IT を活用した学習教材の開発が注目されている状況の下で、文部科学省の科学研究費補助金の特定領域「新世紀型理数科系教育の展開研究」(領域代表者：増本 健 東北大学名誉教授)の公募に著者らのグループ(浜井(代表者)、留野、和田、上田、小松、山岡)は「先端科学を採り入れた学習における IT 活用の新しい理科教育カリキュラムの開発」と題したプロジェクトを申請した。幸いなことに、このプロジェクトは平成15, 16年度の2年間にわたって採択されることとなった(平成16年度は予定)。

このプロジェクトの目的は先端科学に関する理科

2004年1月23日受理

†Development and Use of Instructional Materials for Natural Science on the Web—A Case of Teaching Superconductivity

*Sanyo HAMAI and Izumi TOMENO, Faculty of Education and Human Studies Akita University, Akita

**Mitsuhiro WADA, Division of Analytical Research for Pharmcoinformatics Department of Clinical Pharmacy, Course of Pharmaceutical Sciences Graduate School of Biomedical Sciences, Nagasaki University, Nagasaki

***Haruhiko UEDA, Masamu KOMATSU, and Tsuyoshi YAMAOKA, Faculty of Education and Human Studies, Akita University, Akita

教材をインターネットの web 上に作成し、生徒たちがいつでも学習したいときに自由にインターネットを通してアクセスし、新しい領域の自然科学の学習を行えるようにすることにある。学校教育における理科の学習内容は学習指導要領の制約を受けるため、たとえどんなに魅力的な最新の自然科学分野の進歩があってもそれを授業の中に取り入れることは不可能に近い。しかし、最近、総合学習などの学習機会が出来てきたことや、ブロードバンドの発達普及に伴うインターネット網の学校や家庭への広がりなどから、生徒に魅力的な理科教材を提供できさえすれば、教科書に載っていない自然科学の面白さ、先端科学の躍動感を伝えることが可能になってきていると思われる。また、そのような機会を設けることが、理科離れを解消する 1 つの手立てとなるのではないかと考えている。

2. 「超伝導」のウェブページ

先端科学の理科教材の 1 つとして「超伝導」を選んだ。このテーマは 1 つには先端科学の代表的な分野で、現在も多くの研究者を引き付ける魅力のある分野であること、「超伝導」に関連する研究では何度もノーベル賞受賞者を出している稀有な分野であること、超伝導磁石を用いた NMR（核磁気共鳴）や MRI（磁気画像診断装置）などの装置が実際に

社会に役立っていること、グループの一員（留野）が超伝導物質の合成を行う予定だったことなどによる。

ウェブページの構成としては、トップページに「先端科学」のページをおき、そこに各テーマ（「超伝導」など）の学習を行えるサイトへ行くためのボタンを配置する予定である（現在はまだ「超伝導」のみしかリンクしていない）。

この「先端科学」のウェブページ（URL は <http://science.is.akita-u.ac.jp/education/sentan/index.htm>）を図 1 に示す。「先端科学」のウェブページ上の「超伝導」のボタンを押すことにより、2 つのフレームに分けた「超伝導」のウェブページ（URL は http://science.is.akita-u.ac.jp/education/chodendo/framepage_1.htm）に移り、その左側のフレーム内に配置してある「歴史」、「原理」、「実験」、「応用」、「用語」、「質問」のボタンを押すことにより、それぞれ対応する画面を右側のフレーム内に表示できるようにした。「超伝導」のウェブページで「歴史」ボタンをクリックしたときの様子を図 2 に示す。また、「原理」、「実験」、「応用」、「用語」、「質問」ボタンをクリックしたときのウェブページの様子をそれぞれ図 3, 4, 5, 6, 7 に示す。

表示された画面において、学習者が未知あるいは難解な用語などに会ったときにその言葉をクリッ



図 1 先端科学のトップページ

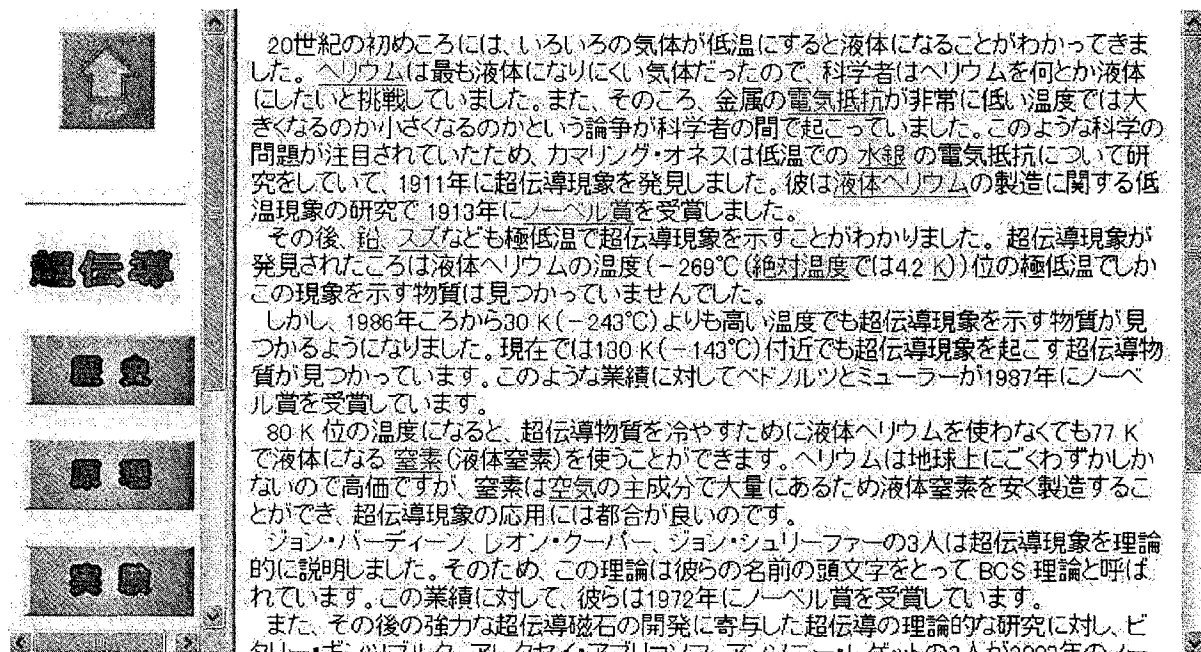


図2 「超伝導」のウェブページで「歴史」ボタンを押したときの画面

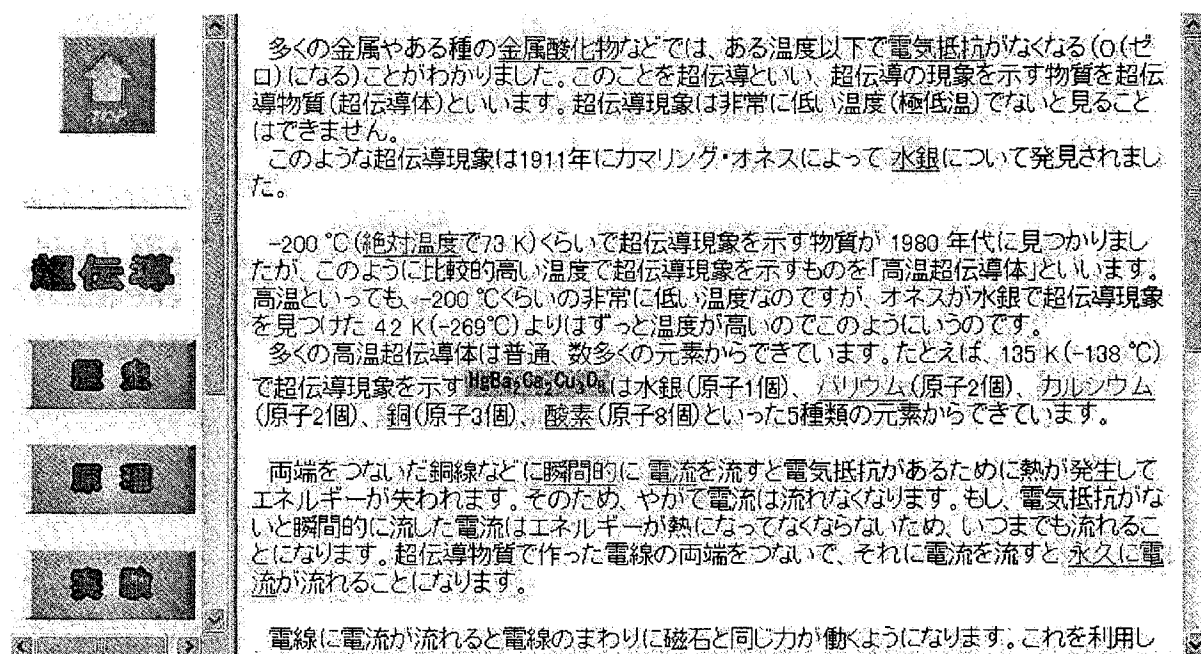


図3 「超伝導」のウェブページで「原理」ボタンを押したときの画面

クすると新しいウィンドウが現れて、その言葉の解説文を読むことができるようにした。その1例として「応用」画面においてMRI(磁気共鳴画像診断装置)の説明文中に出てきた「水」をクリックしたときの画面を図8に示す。元々のウィンドウに重なって見える小さなウィンドウが「水」について解説した新しいウィンドウである。新しいウィンドウの文

章中にさらに未知の用語が現れたときにもクリックすることにより、さらに新たなウィンドウが表示されて、学習者の理解を助けるようにした。クリックして解説を読めるこれらの用語については、左側のフレームの「用語」ボタンを押すとこのウェブページで解説される全ての「用語」についてまとめた一覧が右側のフレーム内に表示されて(図6参照)、

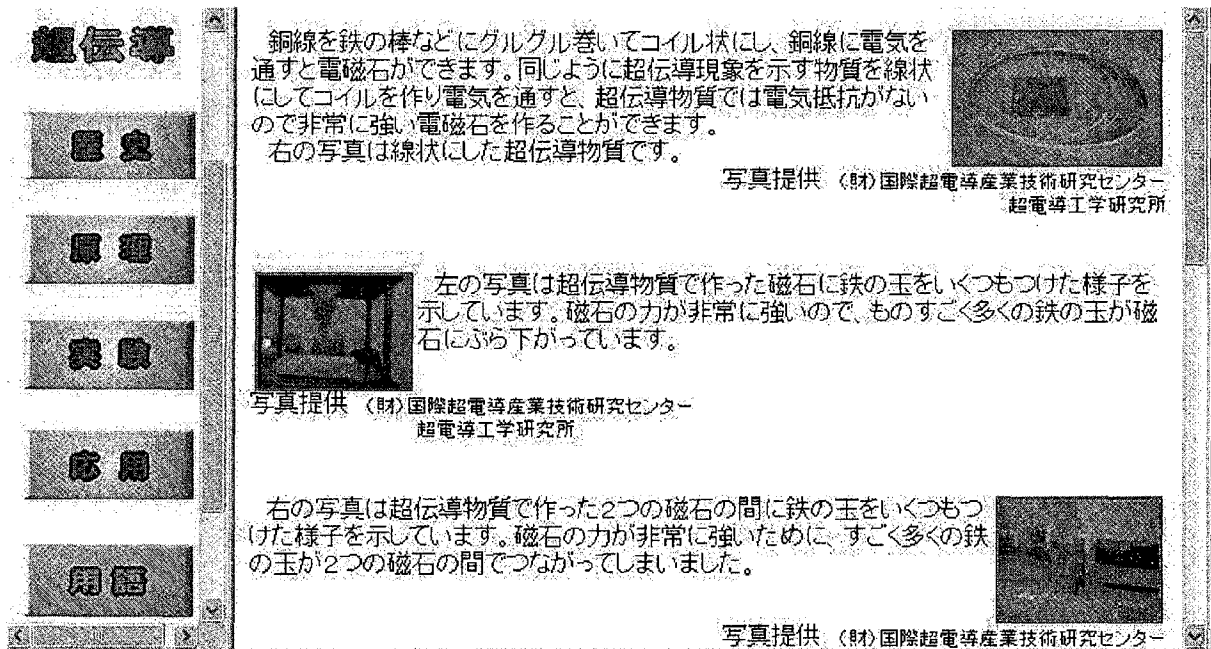


図4 「超伝導」のウェブページで「実験」ボタンを押したときの画面

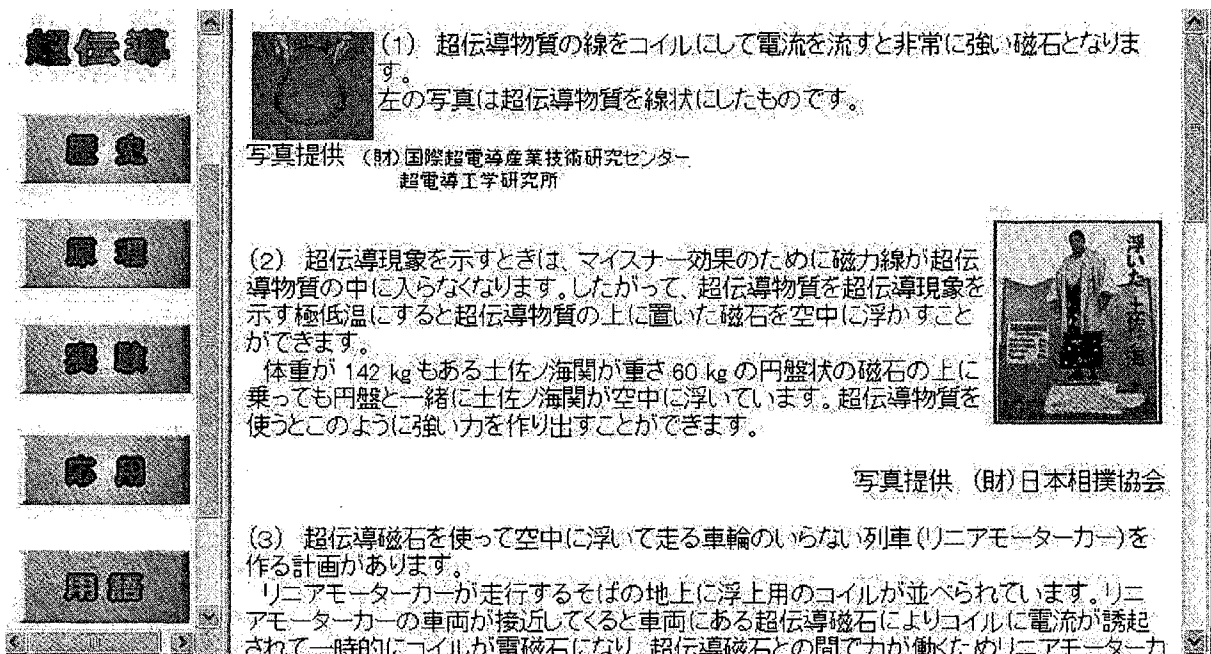


図5 「超伝導」のウェブページで「応用」ボタンを押したときの画面

そこから用語解説を読むことができるようになっている。

「実験」や「応用」のところには説明文だけではなく、写真や動画(ビデオ映像)も配置した。これらの写真と動画の多くは(財)国際超伝導産業技術研究センター 超電導工学研究所, (財)鉄道総合技術研究所, (財)日本相撲協会から許可を得てお

借りたものを使用した。「実験」や「応用」ボタンを押して最初に現れるウェブページで見ることのできる静止画像は容量を小さいものにしてダウンロードに過重な負荷がかからないようにした。これらの小さい静止画像をクリックすると大きい画像が新しい画像として現れるようにした。

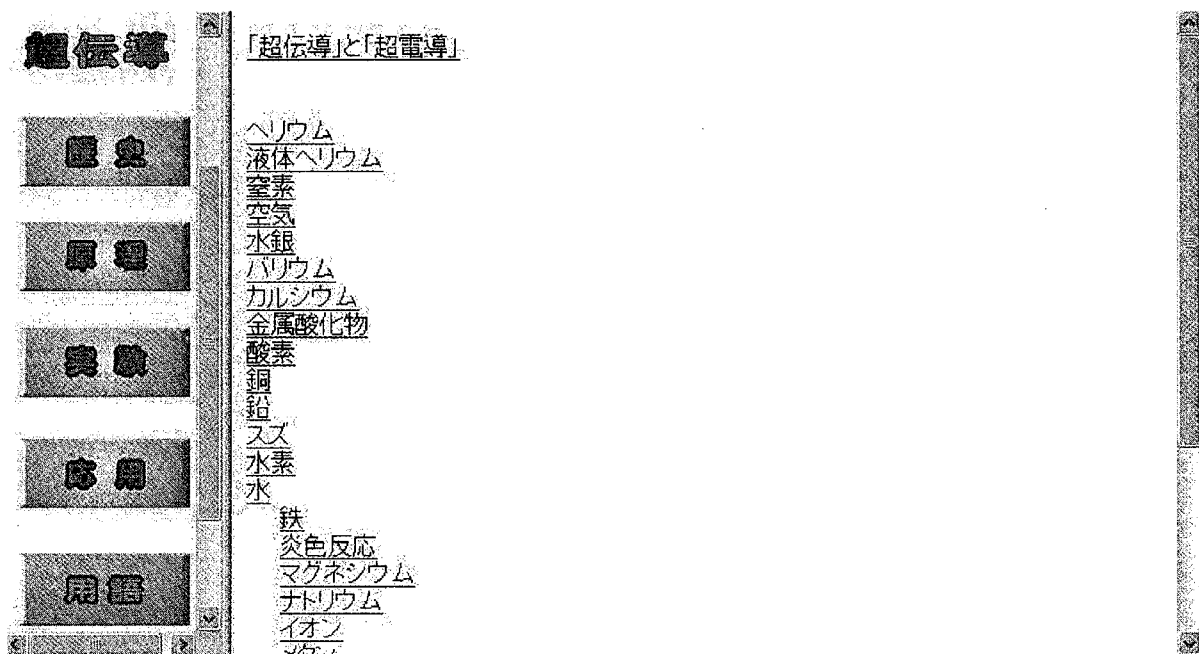


図6 「超伝導」のウェブページで「用語」ボタンを押したときの画面

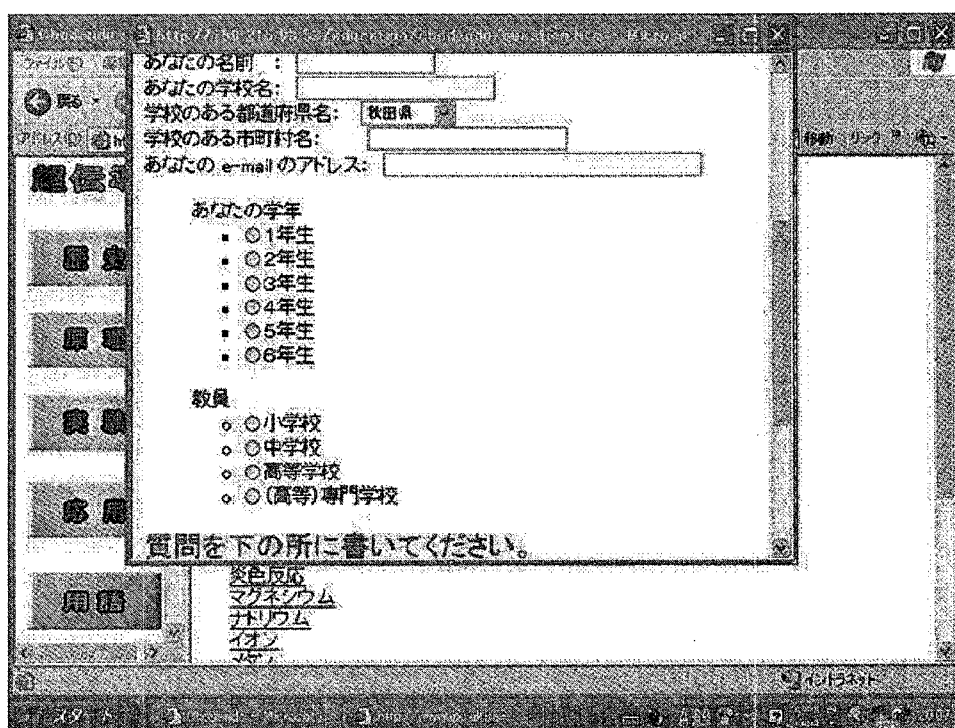


図7 「超伝導」のウェブページで「質問」ボタンを押したときの画面

3. 中学生に対するアンケート

こうして作成したウェブページの内容を検討し改善を図る目的で、秋田大学教育文化学部附属中学校の科学部に所属する生徒たちに見てもらい、用意したアンケート用紙によって意見・感想を収集した。

アンケートの内容は以下のとおりである。

- (1) あなたの学年は？
 - (1. 1年生 2. 2年生 3. 3年生)
- (2) あなたはこれまでに「超伝導」という言葉を知っていましたか。

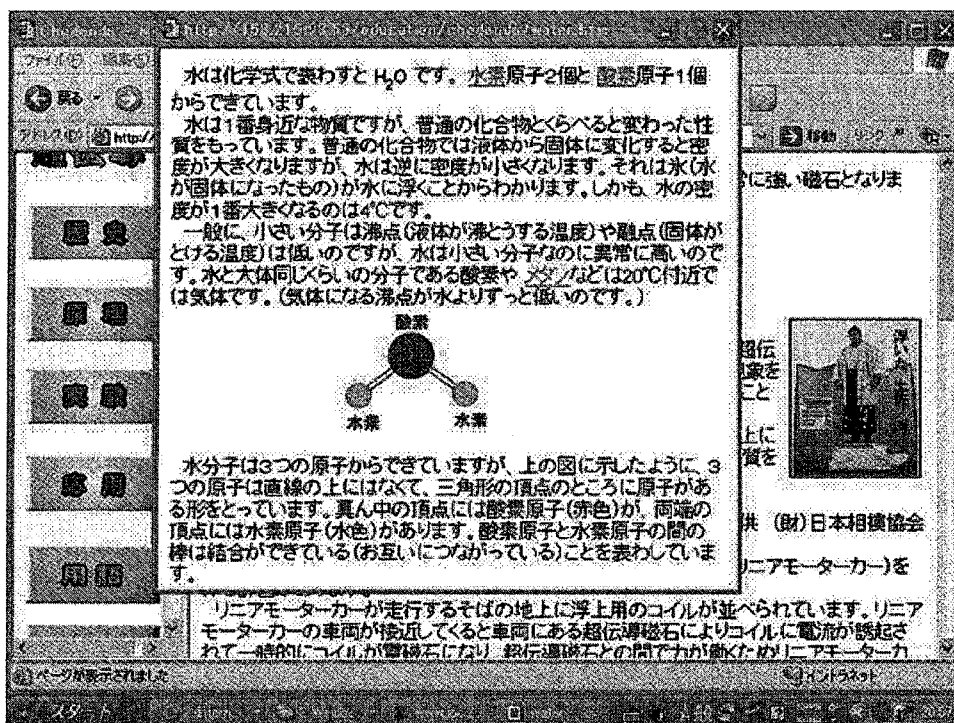


図8 「超伝導」のウェブページで種々の画面でリンクの張ってある言葉をクリックしたときの画面。ここでは「応用」画面で文章中の「水」をクリックしたときの状態を示してある。

- (1. はい 2. いいえ)
- (3) (2)で「はい」と答えた人に質問です。どのよう
なところで知りましたか(〇はいくつでも)。
(1. テレビ, 新聞, 本, 雑誌など 2. インター
ネット 3. 先生, 親, 友人など人から 4. そ
の他 _____)
- (4) あなたはこのホームページで、「超伝導」につ
いてこれまで知らなかったこと, 分からなかった
ことを理解することができましたか。
(1. 理解できた 2. 少し理解できた 3. 理解
できなかった 4. ホームページの内容は, す
でに知っていることばかりだった)
- (5) (4)で1.あるいは2.と答えた人に質問です。新
しく知ったり理解できたりしたのは, どんな点で
すか。
- (6) 「実験」のところに紹介されているものの内で,
実際にやってみたいものがありましたか。あつた
ら下に書いてください。
- (7) 「超伝導」についてもっと詳しく知りたいと思
うことがありますか。あつたら下に書いてくださ
い。
- (8) このホームページでは関連する用語(たとえば
各種の元素など)についての説明を参照すること
ができますが, あなたはそれらを見ましたか。ま
た, もっと別の用語の説明がほしいと思いま
したか。
(1. 見た(見たのは _____)
2. 見なかった 3. 別の用語の説明がほしかつ
た(ほしかつたのは _____)
- (9) このホームページでは, 「超伝導」に関する質
問を受け付けていますが, あなたは実際に質問の
メールを出しましたか。
(1. 出した 2. 質問したいことはあつたが出
さなかつた 3. 質問がなかつたので出さなかつ
た)
- (10) 最後に, この「超伝導」についてのホームペ
ージを見た感想を, 自由に書いてください。
4. アンケートの結果と考察
アンケートの回答者は一年生6名, 二年生7名,
3年生1名の計14名で, 全員が男子であつた。各人
1台のパソコンによって(30分程度の時間をかけて)
ウェブページを見てもらつたもので, そのさいに生
徒同志の話し合いを促すことはしなかつた。
回答の一覧を表1に示す。この調査結果は, 対象
人数も少なく全員が科学部員ということで, 中学生

表1 アンケートの集計結果

整理番号	学年	超伝導既知	既知媒体	HPで理解	理解した事項	やってみたい実験	さらに知りたいこと	用語解説を読んだ	質問メール出した	意見・感想(自由記述)
1	2	2	0	3	0	1	0	1	4	図を多く。
2	3	1	1	0	1	1	1	1	2	知識が得られてよかった。用語解説を多く。
3	1	2	0	2	2	2	1	2	2	説明を平易に。実験の説明を詳しく。
4	1	1	1	1	3	1	1	1	2	知識が得られてよかった。ミクロの仕組みを知りたい。
5	1	2	0	1	3	1	1	1	2	浮揚実験を見たい。
6	2	1	4	2	4	1	1	1	2	科学の不思議さが分かった。別の視点の記述も。(BCS理論の記述あり)
7	2	1	0	3	0	1	1	1	2	超伝導というテーマにとらわれ過ぎて、個々の効果や原理の具体的記述が疎か。
8	2	2	0	0	1,2	0	0	1	3	写真が豊富。字が小さい。
9	1	2	0	2	4	0	0	2	3	字が多すぎる。
10	2	2	0	2	4	0	0	2	3	すごいと思った。
11	2	2	0	3	0	1	0	1	3	小学生には難しすぎる。
12	2	1	1,2	2	1	3	0	1	3	説明を読んで面白そう。実験してみたい。
13	1	2	0	2	1	1	0	1	3	初めてだが、読んでなんとなく分かった感じ。役立つ物の開発を期待。
14	1	2	0	2	4	3	0	1	3	とてもいいHP(自分は電気や元素が好き)。

理解内容 F:1 超伝導の原理や定義 2 超伝導研究の歴史 3 応用全般 4 リニアモーターカー
 やってみたい実験 G:1 浮かせる 2 鉄球をたくさんぶら下げる 3 全部
 さらに知りたいこと H:0 無答 1 記述あり

表2 超伝導について新たに理解できたか否かと、理解できた事項とのクロス集計

データの個数:理解した事項	理解した事項						1,2	総計
	0	1	2	3	4			
HPで理解								
0		1				1	2	
1				2			2	
2		2	1		4		7	
3	3						3	
総計	3	3	1	2	4	1	14	

理解できたか:0 無答 1 理解できた 2 少し理解できた 3 理解できなかった

理解内容: 0 無答 1 超伝導の原理や定義 2 超伝導研究の歴史 3 応用全般 4 リニアモーターカー

の平均的傾向を知るための資料とは言えないが、ウェブページの改善点を探る上では有意義なものと考え、得られた回答を元に、今回のわれわれのウェブページの改善について考察した結果を以下に記す。

4-1 考察の観点

本プロジェクトの目的に照らし、作成したウェブページの評価において最も重要な基準となるのは、①回答者がHPの内容を理解できたかどうか、②回答者がHPの内容に対して興味を喚起されたかどうか、の二点である。この①については質問項目の(4)および(5)、また②については(6)、(7)および(9)によって探ることができる。ここでの考察は、主にこの二つの観点から行った。

4-2 生徒による記述内容の理解について

14名の回答者の内で、ウェブページによって新たな事項を理解できたかどうかを問う質問(4)に対して、「理解できた」と回答した者は2名、「少し理解できた」が7名、「理解できなかった」が3名、無回答

は2名であった。

「少し理解できた」という回答が一番多く、全体の半数を占めている。一般に、こうした質問に対して否定的な回答をするのには抵抗感が伴うと思われる。すなわち、「あまりよく理解できなかった」と感じる者の中に、「理解できなかった」ではなく「少し理解できた」という回答を選択した者がいたことが考えられる。また無回答の2名は、新しく知ったり理解したりした事項を問う質問(5)に対しては回答を記述しているので、この質問(4)にも回答する意思はあったが、どの選択肢を選ぶかを決めかねた可能性が高い。あるいは彼らは、このウェブページによって新たな知識を得たが、そのことが、質問(4)で用いている「理解」という表現にふさわしいか否かで迷ったのであろうか(この点についてはすぐ後で述べる)。

回答者による理解の実態をさらに検討するために、内容を理解できたか否かの回答と、理解できたとする内容項目とのクロス集計を行った(表2)。

質問(4)に対して、新たな事項を理解できたと答え

た2名がその内容として挙げたのは、「超伝導現象が実際に応用されているという事実」であって、これは、新たに知ったことではあっても、理解したというには当たらない内容と言える。無回答の2名は、質問(5)には回答していて、「極低温で抵抗が無くなること」や、「超伝導の原理や歴史」を記述している。「原理」という言葉の具体的内容は定かでないが、少なくともそれ以外の事項は、「理解した」というよりも「読んで知った」と表現するのにふさわしい事項であろう。一方、「少し理解できた」と答えた7名についてその内容を見ると、「超伝導の原理や定義」(2名)、「超伝導の歴史」(1名)そして「リニアモーターカー」(4名)となっている。特に「リニアモーターカー」は、今回作成したウェブページで、超伝導現象の実用例のいわば代表として取り上げているものであるが、質問(5)への回答でこれを挙げた者の中に、質問(4)で「理解できた」と答えた者はいなかった。このことは、今回のウェブページでは、超伝導現象がリニアモーターカーに応用されているという知識を伝えることはできたが、その浮揚や推進の原理について、理解できたという実感を生徒に与えるまでに至っていないことを窺わせる。生徒にこうした内容を理解してもらうことはなかなか困難だと言えるが、本プロジェクトを企画したわれわれには、理解できたという実感を持ってもらうべく、特段の工夫が求められているとも言える。

4-3 リニアモーターカーの原理の説明について

そこで改めて考えると、リニアモーターカーの原理を理解してもらうには、以下のような順を追った説明が求められているように思われる。すなわち、①従来にない高速を実現するために、車体を浮揚させ、車体と軌道間に摩擦のない状態で強い推進力を働かせるのがキポイントであること、②非常に強力な磁力を作り出せばそれが可能になること、をまず説明し、次に、③その強力な磁力を得るために超伝導現象の利用が有用であることを述べる。その上でさらに、④超高速時に車体を浮揚させるための電磁石は、軌道上でなく進路の側面に設置されていること、⑤浮揚した状態で超高速で動く車体が軌道をはずれないように、わずかでもずれると復元する力が働く仕組みが設置されており、それにも磁力が使われていることなどの紹介があった方がいいのかもしれない。

これらは超伝導という当初の主題からははみ出たものであるが、こうした事項にある程度言及しないのでは、リニアモーターカーについて紹介したことにならないのではないか。つまり読み手に、ある程度まとまった理解を得たという納得感を得てもらえないのではないかと考える。表1の整理番号7の回答者がアンケートの最後の自由記述欄に述べていた、「超伝導現象にとらわれ過ぎていて、個々の記述内容が疎かだ」という趣旨の意見は、この点を指摘しているように思われる。

JR 東海や鉄道総合技術研究所のウェブページにはすでに、上記④、⑤などを中心に、リニアモーターカーの仕組みについて丁寧で詳細な解説があるが、それらを読者が理解・納得するには、電磁誘導の知識を基に相当粘り強く考察する必要があると思われる。われわれはむしろそれらのウェブページをも引用しつつ、そこにある記述を理解するための基礎、すなわち上記①～③辺りの事項を、超伝導はもちろん電磁誘導の原理をも含めて、簡潔かつ分かりやすく説明することを、まず試みるべきであると考えられる。

上記①に関連して、すでにあちこちで紹介されているものではあるが、リニアモーターの原理の解説や、それについて理科室で行える簡単な実験の紹介も、読者の興味を喚起し理解を図る上で有効かも知れない。

以上の記述に当たっては、ITを利用するメリットの一つとして、電磁誘導現象や電磁力による運動の説明に、アニメーションを取り入れることも考えられる。

4-4 本ウェブページによる興味や意欲の喚起について

ウェブページの「実験」のセクションに紹介されたものは、実質的に二種類であった。それらの内で実際にやって見たいものが何かを問うた質問(6)に対しては、表1に示す通り、回答者14名の内の11名が答えを記述しており、その内10名が「超伝導物質の上で磁石を浮かせる」を挙げていた。一方、超伝導磁石の強力な磁力によってたくさんの鉄球を吸い付ける実験を挙げている者が2名いた(1名は浮揚実験と重複)。また、やってみたい実験を挙げていない者は3名であった。

一方、超伝導についてさらに知りたいことは何か

という質問(7)に対して答えを記述した者は6名であり、残りの8名からは回答がなかった。回答があった6名の内3名は超伝導の応用について知りたいとしており、その他は、磁石の強さについて、BCS理論について、絶対温度についてがそれぞれ1名であった。この意見を受けて、絶対温度についてはさっそく用語解説を付け加えた。

また、ウェブページから質問のメールを出したかどうか(質問(9))については、実際に出した者はなく、「質問がなかったので出さなかった」者が6名、「質問があったが出さなかった」者が7名で、残る1名は「メールを出そうとしたが送信されなかった」ということであった。

以上をまとめると、提示された具体例の内から見たいと思う実験を選ぶ形式の質問には、8割近い者が回答していたが、何を知りたいのかという自らの考えを記述する形式になると、回答した者は半数を割り、さらに他者に問いかけるといふ実際に行動に出た者は、ほとんどいなかったことになる。こうした結果は言うまでもなく、回答者が超伝導現象について十分理解できたと感じたためのものではない。こうした、学習に対するいわば受動的傾向は、教育のさまざまな分野・場面で現在共通して見られるものと言えよその通りであろうが、このわれわれのウェブページも、読者である生徒の興味や意欲を刺激し喚起する点で課題を抱えていると見なくてはならない。

上に、「応用」の部分のリニアモーターカーの解説について、読者の理解の順を追った丁寧な記述が必要かも知れないと述べたが、超伝導現象そのものについても、彼らの好奇心を喚起し、それに応えるために、順を追ったより丁寧な解説が必要かも知れない。それは、電気抵抗が消失し、またある程度までの強さの磁場を侵入させず、磁石を反発力によって浮かせる(マイスナー効果)といったいわばマクロの現象の解説に加えて、マイスナー効果は、外部の磁場が超伝導体の表面近くに電流を誘導する結果であること、さらには、超伝導体のこうした特徴が現れるのは、負電荷を持つ自由電子どうしが、極低温では二つずつ対を作って、常温の場合とは著しく異なる行動をとるためである(BCS理論)といった、いわばミクロのレベルの解説を組み合わせたものである。最後の部分には、いわゆる高温超伝導体ではBCS理論以外の原理が潜んでいるかも知れな

いことも、付け加えられる。アンケートの回答者の中に、上にも引用した「BCS理論について読みたい」という答えを書いた者の他にも整理番号4の者が、「ミクロの仕組みを知りたい」と答えていたことは、こうした解説の必要を示唆する。

今回のわれわれのウェブページでも、当然ながらこれらのいくつかを取り上げている。さらに、文中に用いられる用語の多くについて、注釈の文を参照できるようにもしてある。この点もIT利用のメリットを活かしたサービスと言える。しかし上に述べたような、読者の興味にさらに応える記述を考えると、注釈による補完だけでは対応しきれないように思われる。「原理」の部分の本文を構造化し、ある階層についての一応完結した記述から別の階層の記述へと、興味に従って読み進む形を採るべきなのかも知れない。表1の整理番号3の生徒は、自由記述欄に、「もう少し簡単に説明してほしい(子供用の創設)」と書いているが、上記のように記述を構造化することによって、それぞれの階層の記述を簡潔にできる可能性がある。

また記述の形式についても、たとえば、こちらが出す質問に答えながら読み進める形にするとか、BCS理論を説明するためにアニメーションを組み込むなど、興味を惹きつけ理解を図るための工夫がさらに求められるように思われる。

5. おわりに

本研究では学習者が自由にweb上に置かれた理科教材にアクセスして学習できるシステムを教育文化学部内に新しいサーバーを購入することにより構築した。web上の理科教材として最初に超伝導を採りあげた。この理科教材を改善するために、付属中学校の科学部の生徒に見てもらいアンケート調査を実施した。その結果、多くの改善点が浮かび上がってきたので、今後はそれらを改善してより良いweb上の理科教材の開発手法を開拓したいと考えている。
謝辞：本研究の成果は特定領域、「新世紀型理数科系教育の展開研究」において採択された平成15-16年度文部科学省科学研究費補助金(課題番号15020210)の援助により得られた。

「超伝導」のウェブページで用いた静止画像、動画の大部分は(財)国際超伝導産業技術研究センター超電導工学研究所、(財)鉄道総合技術研究所、(財)日本相撲協会の許可を得て使わせていただいた

たものです。厚くお礼申し上げます。

また、秋田大学教育文化学部附属中学校の科学部の生徒によるアンケート調査にご協力いただいた附属中学校校長の井上正鉄先生，附属中学校副校長の菊地一仁先生，科学部顧問の大塚久隆先生に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) 吉本優子，前迫孝憲（2003）食生活の自己管理を支援する Web 学習システムの開発と評価 教育システム情報学会誌，Vol. 20(3)，pp.284-292.
- 2) 朱仲武，新田保秀，王樵，近藤邦雄，ベルーズ・ファー（1999）汎用的なシステム開発ツール WWW-CALISTを用いたWebベースの適応型学習支援システムの構築とその評価 教育システム情報学会誌，Vol. 16(3)，pp.149-159.

Summary

The present paper is a report of the process of developing a Webpage onto the server of the Faculty of Education and Human Studies at Akita University. The material involves both still and motion pictures in an attempt to help students understand better the mechanism of superconductivity. A glossary is attached to the material, so it may help students find a definition of unfamiliar words by simply clicking the target word. A set of questionnaires was also prepared, whereby the user may send their opinions about the material to the developer. The material was subsequently reviewed by the students of Akita Fuzoku junior high school. Based on their comments, improvement was made on the material with respect to the one which dealt with the Linear Motorcar as an application model of teaching students the notion of superconductivity. The paper concludes with several suggestions for implementing the system for instruction students in the most effective manner.

Key Words : Internet, Web, Webpage, Superconductivity, Teaching Materials of Natural Sciences, Questionnaires

(Received January 23, 2004)