

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 29 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560004

研究課題名（和文）新興国における創造的設計を支援するシステム

研究課題名（英文）A system to support creative design in developing countries

研究代表者

堀 浩一（Hori, Koichi）

東京大学・大学院工学系研究科（工学部）・教授

研究者番号：40173611

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、新興国において、新興国の技術者が自分たちで自分たちのための技術開発を行えるようにするために、新たな設計支援のプラットフォームを構築し、実際に新興国において実証実験を行うおうとするものであった。新興国においては、先進国には存在しない様々な制約が存在する。本研究の仮説は、それらの制約に直面した時に、第一原理に立ち返り、問題を見直すならば、新たな問題空間と解空間を発見することができ、先進国におけるよりもさらに創造的な解が得られる場合がある、というものであった。実際にアフリカのガーナなどで実験を行うことにより、その仮説を部分的に実証することができた。が、同時に難しい課題も発見した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we aimed at a novel design support platform that can support technologists in developing countries to develop their own new technologies for their own purposes. Various constraints that do not exist in developed countries exist in developing countries, and they often prevent from getting solutions. Our hypothesis was that we may get creative solutions if we can go back to the first principles and restructure the problem itself. We have partially proved this hypothesis through experiments in Ghana, and, at the same time, we have found new difficult problems.

研究分野：知能工学

キーワード：創造活動支援 適正技術 新興国 設計支援

### 1. 研究開始当初の背景

本研究は学術的に二つの側面を持つ。ひとつめは、新興国における適正技術のあり方という人文科学的な研究の側面である。ふたつめは、創造的設計を支援するシステムに関する自然科学的な研究の側面である。

まず適正技術のあり方という側面であるが、我々の立場は、新興国の人々が自分たちに最も適した人工物を自分たちで設計製造できるようにしたいという立場である。本研究においては、それを可能にするための支援システムを提案する。

次に、創造的設計を支援するシステムに関する自然科学的な研究の側面であるが、これについては、従来より、主として認知心理学の領域において、制約がある場合のほうが制約が無い場合よりも創造的な設計をできる場合が多いという結果が得られている。しかし、それらは実験室での実験結果であり、実際の現場では異なるのではないかという批判もなされてきている。本研究においては、さまざまな制約が存在する新興国の現場において、制約の存在が創造的な設計を生み出すという仮説を検証することをめざす。

### 2. 研究の目的

新興国において、新興国の技術者が自分たちで自分たちのための技術開発を行えるようにするために、新たな設計支援のプラットフォームを構築し、実際に新興国において実証実験を行う。新興国においては、先進国には存在しない様々な制約が存在し、それらがしばしば技術開発を阻む。本研究の仮説は、それらの制約に直面した時に、第一原理に立ち返り、解決しようとする問題を見直すならば、新たな問題空間と解空間を発見することができ、先進国におけるよりもさらに創造的な解が得られる場合がある、というものである。その仮説を実証することをめざす。

### 3. 研究の方法

本研究においては、設計支援システムを構築し、新興国に滞在して実際に使ってみてもらうことにより、その効果を実証することを試みた。

本研究に協力してくださったのは、アフリカのガーナの工業高校である。研究開始の時点で、その工業高校の校長先生より、自分たちで設計してみたいものの希望は頂戴していた。研究協力者の青木翔平が現地に数ヶ月にわたって滞在することにより、実証実験を行うこととした。途中で希望が変わり、当初の希望の物とは異なる物を設計することになる可能性もあるなど、想定外の事態が起こりうることは当初から予想していた。想定内のシステムの効果、想定外の困難、想定外の効果など、実際にやってみなくてはわからない知見を実証的に収集することを目指すこととした。

従来から、新興国において創造的なデザイ

ン（本研究においてはデザインという語と設計という語を同義語として用いることにする）がなされたという事例はあった。たとえば、婦女子が頭の上に壺を載せて水を運んでいる現状を改善するために、回転するドラムの中に水を入れて運搬するようにした Q-drum の発明などが知られている。

しかし、この Q-drum の例がそうであったように、従来は、有能なデザイナーが、現地に入り込んで、デザイナー自身の知識と経験を駆使することによって、新しいデザインを提案し実装してきている。各デザイナーの能力に依存した仕事であったとすることができる。

本研究が提案するのは、有能なデザイナーに頼らずに、現地の人々が自分たちで問題を再定義しながら設計を試行錯誤するための設計支援システムである。（ただし、有能なデザイナーが我々の提案する設計支援システムを用いるという可能性はもちろん否定していない。有能なデザイナーが支援システムを用いればさらに良いデザインをできる可能性は期待できる。）

従来は有能なデザイナーに頼っていた設計を新興国の人々が自分たちでできるようにするために、すでに先進国で使われている設計支援システムの機能に加えて、次の2点の機能を追加する。

- ・通常の使い方とは異なる部品やサブシステムの使い方を示唆する機能
- ・解決しようとしている問題の再定義を示唆する機能

我々による研究を含めて、従来から創造的な設計を支援しようという研究は行われてきた。また、認知心理学の分野において、制約があったほうが制約が無い場合よりも創造的思考が生まれるという実験室での実験結果が得られていた。

本研究において、創造的な設計を支援するための基本的な原理については、我々がこれまで提案し実証してきた原理を応用する。すなわち、設計に用いる知識を動的に分解し再構成するための原理である。

しかし、従来の創造的設計支援の研究のほとんどは、概念設計の領域での実験室レベルでの研究にとどまっており、製造に利用可能な材料や工法に関する実際の制約の下で実証的に研究を行った例は無い。

本研究においては、それらの制約を積極的に利用することを提案・実装し、新興国における実証実験まで行いたいと考えた。

当初の計画では、次のような実験の遂行を想定していた。

例題として、ガーナの工業高校の校長先生より希望されている「工業高校の先生と生徒が自分たちで3Dプリンタを製作する」という課題を取り上げる。我々は、3Dプリンタを製作するのに必要な知識を蓄えた設計支援システムを作成する。この設計支援システムには、従来の設計支援システムと異なり、知

識を動的に再構成しながら利用するための機能を持たせる。

これをガーナの工業高校の先生と生徒たちに使ってもらいながら、自作の3Dプリンタの設計と試作に取り組んでもらう。この工業高校には、MITが提供しているFablabという試作工房があり、工作機械などはその設備を使うことができる。

設計と試作を繰り返す中で、3Dプリンタの自作という目標そのものの変更を含めて、どのような創造的な解が出現するか、我々の設計支援システムの効果を詳細に観察し分析する。

構築する設計支援システムのベースには、我々が以前から提案し実装してきたKNC (Knowledge Nebula Crystallizer) と称するシステムを用いる。

例題として取り上げる「3Dプリンタの自作」を実現するために必要と思われる知識をKNCの上に実装する。まずは、現在市販されている3Dプリンタを真似して作るために必要な部品に関する知識、構造に関する知識、制御に関する知識などを記述する。

この知識ベースに基づいて、アフリカのガーナの工業高校で3Dプリンタの設計を始めると、当然のことながら、「入手できない部品がある」、「製造できない機構がある」等の制約にぶつかり、そのままでは設計製造を続けられなくなると予想される。

その時に、我々が提供するシステムがまず支援するのは、使えない部品のかわりに使える部品が無いかをさがす機能、および製造できない機構のかわりに製造できる機構がないかをさがす機能である。

単純に代替部品や代替機構が見つければよいが、多くの場合は、単純な置き換えでは済まないであろう。そもそもその部品や機構が何のために必要だったかという一段上位の要求に立ち返って、その要求を実現する別の方法を考えることになる。一段上位の要求に立ち返っても駄目ならば、さらに上位の要求に立ち返って、最終的には、何のために何を作ろうとしていたのか、というところまで考え直す必要が出てくる。我々の提供する設計支援システムは、動的に知識を組み替えることにより、その考え直しのプロセスを支援する。

現地にどのような制約が存在するかについては、実際にやってみないとわからない部分が多い。現地での実際の実験は、研究協力者の青木翔平が担当することとした。本研究よりも先に、すでに青木がボランティアとして自費でバングラデシュやアフリカ諸国に滞在して現地の状況を調べてきたのであるが、ある種の先進的な電子部品は「ガーナの秋葉原」と呼ばれるような電気街で入手できるのに、基本的な構造部材の材料が入手困難であるというように、新興国は平均的に先進国より遅れているのではなく、現地での制約は凸凹の姿を持っており、複雑である。

制約にぶつかった時に一段上位の要求に立

ち返って別の方法を示唆するための機能は、我々のKNCにおける知識の液化化と結晶化と称する原理を応用して実装する。

専門家の有する知識の多くの部分は、きちんと構造化されている。あるいは、別の言い方をするならば、体系だって知識を伝達したり活用したりするためには、知識はきちんと構造化されているほうが望ましいと考えられていることが多い。

この構造化された知識は、専門知識を通常の文脈で用いるためには、伝達するためにも活用するためにも都合が良いのであるが、いつもとは異なる制約の存在する新しい文脈で用いるためには不都合である。知識を構成する要素が固定的に他の要素と結合されていて、新しい文脈に対応できないからである。

創造的な設計を行うためには、文脈に応じて、知識を動的に組み替える必要がある。我々が以前より提案し実験を行ってきたのは、この知識の動的な組み替えを半自動的に行うための方法である。知識の液化化とは、知識を構成する要素をいったんばらばらにし、さらに、それぞれの要素に対して、他の要素との結合可能性を示す結合手を付与するという過程である。結晶化とは、その結合手の情報を利用して、新たな知識の構造を生成する過程である。

3Dプリンタの自作という例題から始めるのではあるが、設計支援システムに蓄えられている知識が、その例題専用のものであっては、設計解が想定外の領域に飛ぶことは期待できない。

そこで、別領域の知識も蓄えて横断的に利用できるようにする。研究の初期の段階においては、我々の研究室が得意としている自律的な飛行ロボットの設計に関する知識を蓄えておくことを試みる。期待するのは、3Dプリンタの設計を行う際に、飛行ロボット設計の知識を動的に組合わせて用いることの効果である。

#### 4. 研究成果

前章に述べた通りの研究方法と研究計画に基づいて、研究を進めた。

実際にアフリカのガーナで本研究の研究協力者の青木が実験を行ったのであるが、一言で言うと、実験は困難を極めた。想定外のいろいろな事態に遭遇するであろうことは、ある程度予想していたことであったが、実際に遭遇した事態は想像以上に厳しかった。しかし、それにもかかわらず、想定内の成果と想定外の成果を得ることができた。以下、それらについて、順に述べる。

初年度においては、設計支援プラットフォームの試作を行なった。そして、研究協力者の青木がガーナに延べ2ヶ月間ほど滞在して、ガーナの工業高校において、その試作版の設計支援プラットフォームを試用する実証実験を行なった。

実際に、システムを持ち込んで、現地の技

術者たち（工業高校の生徒や先生、および大学の若い先生など）に、自分たちが抱える問題を解決するための人工物を設計製造してもらうというワークショップを繰り返し行うことによって、提案するシステムが役に立つ可能性を調べようとした。

しかし、初年度は率直に言って、惨憺たる結果であった。まず、ガーナに持ち込むまでに、日本において設計支援システムを作り込んで十分に準備したつもりであったのであるが、実際に行ってみると、すでに、当初相談していた3Dプリンタの自作という希望はなくなったとのことであった。ガーナでも3Dプリンタが比較的容易に安価に入手可能になったため、あえて自作するという要求が消えたとのことであった。まずは、現地とのコミュニケーションという問題にぶつかったのであった。

3Dプリンタという課題は消えても、自分たちが欲しいものを自分たちで設計製造するという希望は消えていないので、設計ワークショップそのものは、現地の人々にも歓迎された。図1にその一部の例を示す。

が、設計支援システムは期待していたほどには役に立たなかった。まず、せっかく作り込んで行った3Dプリンタ設計製作のために必要な知識ベースは役に立たないことになった。しかし、支援システムには、領域知識とは別に、問題の空間を図示したり、解の可能空間を図示したりする機能も用意されており、それらは役に立つことが期待された。実際、部分的には使ってもらえたのであるが、そもそも停電が多くて、ワークショップの現場では、コンピュータが使えなくなってしまう時間も少なくなかった。



図1：ガーナにおける設計製造ワークショップ

1年度目の結果を受け、2年度目からは、少し作戦を変更することにした。すなわち、コンピュータシステムによる支援の効果の検証よりも、第一原理に立ち返ることの効果の検証に重点を置くことにした。

コンピュータによる支援は部分的なものにとどめ、アイデアの書き出しなどは、紙と鉛筆という古典的な手段を活用することにした。初年度に続いて、第2年度においても、設計製造ワークショップを繰り返した。

自分たちで自分たちのための技術開発を行うという考えそのものは現地の若い技術者も大歓迎であり、自分たちでどのようなものを作りたいかについて、様々な提案が出現し、そ

の試作品の製造を試みることができた。

それらの試みの中で、新興国における技術開発のための重要な要素を発見し整理することに役に立った例として、fufu pounder の設計製造をここでは紹介したい。

Fufuというのは現地で食べられる餅のようなもので、それを作る自動餅つき機を設計製造したいという希望が、設計ワークショップの中で出てきた。実際に設計された fufu pounder を図2に示す。

ところが、これの試作品の製造において壁にぶつかった。十分な出力を出せるモータが入手できなかったのである。電気部品のどのお店を探しても見つけれなかった。諦めかけていた時に、本研究の研究協力者の青木が、自動車の解体工場で、オルタネータを見つけた。オルタネータは自動車で使われている発電機である。この時に、発電機はモータとしても使えるという原理に立ち返って、見つけたオルタネータをモータとして使ってみたところ、所望の性能を得ることができた。

後から見れば当たり前のことのように見えてしまうが、その時の現地の技術者たちと青木の喜びは非常に大きかったとのことである。

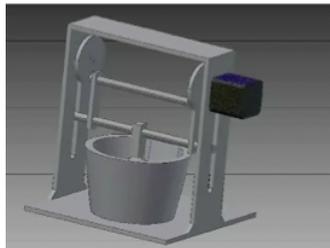


図2：fufu pounder その1

実際に図2の試作品を製造して、現地の人々に使用してもらったところ、餅つきの最中に臼に手を入れられるようにして欲しいとの要望が寄せられ、図3に示すような改良型の設計と試作も行った。

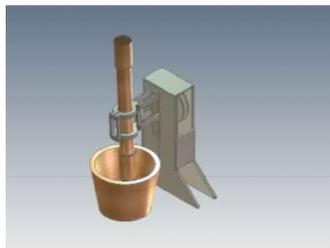


図3：fufu pounder その2

第2年度において実践的に得られた成果を、我々は次のように整理した。

- (1) 第一原理に立ち返ることが創造的設計を促すという従来から知られていた知見は、新興国における設計においても成立し、重要である。

(2) しかし、それが成立するためには、次の二つの要素が必要である。

- ① 物理的な「物」の発見。上述の例では、自動車部品のオルタネータの発見がこれにあたる。
- ② 第一原理に立ち返る知識を有した専門家。

当初期待していたのは、我々が試作した設計支援システムが第一原理への立ち返りを支援できるであろうということであった。

しかし、残念ながら、これは成立しなかった。かなりの量の知識を知識ベースとして蓄えたつもりではあったが、実際の問題に適用するためには、まったく不十分であった。

今後機械学習の技などを用いてシステムの能力を向上させるという方向も考えられなくはないが、実際にやってみて認識したのは、「問題」と「物」と「知識」の三者の相互作用が重要であり、それらのうちのどれか一つが欠けても、解は得られない、ということである。上に紹介した例で言えば、「問題」は、必要な回転力を有する機構の設計であり、「物」は電気モータや自動車のオルタネータであり、「知識」は青木が有していた電気工学の基礎知識であった。

この青木の役割を人工知能に置き換えることは、我々の当初の研究のスコープには含まれていたのであるが、実際にやってみた結果わかったのは、それは想定していたほどには簡単ではないということである。

人工知能が「問題」、「物」、「知識」の間の相互作用を扱えるようにすることを目指すならば、人工知能が問題について当事者とコミュニケーションし、自分で市場や解体工場を歩き回って物を探し出し、それらに関する知識の探索と活用を行うことができるようにしなければならないということになる。最後の知識の探索と活用は実現できると考えられるが、残念ながら、市場や解体工場を歩き回って「物」を探し出すのは、少なくとも、現在の「物」の世界においては、難しそうである。

すべての「物」が情報化されて繋がる IOT (Internet Of Things) が発展すれば、可能性が出てくるかもしれないので、さらに検討と試行を重ねていきたい。

## 5. 主な発表論文等

2017年5月時点で、出版の決まったものは、まだ無し。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

堀 浩一 (HORI, Koichi)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号： 40173611

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：

### (4) 研究協力者

青木 翔平 (AOKI, Shohei)