

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：12605

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2018～2019

課題番号：18H05696・19K20897

研究課題名（和文）磁性物理モデルを用いたR&Dプロジェクトの定量的解析とマネジメントに関する研究

研究課題名（英文）Quantitative analysis and management of R&D project using magnetic physical model

研究代表者

林田 英樹（Hayashida, Hideki）

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・特任教授

研究者番号：40795168

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,000,000円

研究成果の概要（和文）：磁性物理モデルを応用した6次元モデルでの、研究開発プロジェクトの定量的解析と効果的なマネジメントに関する研究を実施。化学企業における実際の研究開発プロジェクトに対し、モデル解析と当該企業における研究開発プロジェクト関係者からのインタビューの音声結果をテキスト化し、自然言語処理を活用したテキストマイニングを当該企業における研究開発プロジェクトの成功事例と失敗事例にて実施した。テキストマイニング分析結果から、6次元モデルの各要素間の関係性を表すクラスターに分かれる事、各クラスターは成功要因、又は失敗要因と結びつけられる事が新たな知見として従来の評価方法に追加できる可能性がある事を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

研究開発プロジェクトマネジメントにおいて、プロジェクト状態の見える化は、プロジェクト管理上極めて重要である。定量・定性分析を組み合わせた磁性物理モデルを応用した6次元モデルを化学企業における成功・失敗例に応用した実証研究を実施。モデル解析による見える化とインタビューのテキストマイニング分析によりモデルを構成する各要素間の関係性を表すクラスターに分かれる事、各クラスターは成功要因、又は失敗要因と結びつけられる事が新たな知見として得られた。

更なる本研究により、オープンイノベーションによる研究開発プロジェクト状態の見える化と研究開発マネジメントの標準化ツールとなる可能性を見出した。

研究成果の概要（英文）：We are conducting research on quantitative analysis and effective management of R&D projects using a 6-dimensional model (modified Ising model) that applies the magneto-physics model model. For actual R&D projects in chemical companies, model analysis and voice results of interviews from people involved in R&D projects at the companies are converted into texts, and text mining utilizing natural language processing is used as a successful example of the R&D project at the company. And the case of failure. It is possible to add to the conventional evaluation method as new knowledge that the result of text mining analysis is divided into clusters that represent the relationships between the elements of the 6-dimensional model, and that each cluster is linked to success factors or failure factors. It is likely that these new findings based on quantitative data analysis by text mining can be incorporated into the conventional R&D project evaluation method.

研究分野：経営学関連

キーワード：研究開発マネジメント 定量・定性解析 モデルシミュレーション 自然言語処理 機械学習 ネットワーク分析

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

企業は、世界規模で複数の研究開発 (R&D) プロジェクトを管理することにより、グローバルな競争力を高めるよう努めています。R&D プロジェクトの実施中を含め、できるだけ早い段階で不適切な状況を修正して回避する必要があります。R&D プロジェクト管理またはイノベーションマネジメントに焦点を当てた技術経営 (Management Of Technology) モデルの一部は、過去に検討されています [1,2]。R&D プロジェクト管理には多くの相互作用する要素が含まれ、複雑なプロセスであることが広く受け入れられています [3,4]。R&D プロセス管理モデルには、さまざまなタイプの相互作用に関する研究が成されてきた。例えば、技術経済ネットワークとフレームワークには、科学、技術、市場、および金融の 4 つの領域間の直接および間接の相互作用について [5]、同様に、構想、応用研究、マーケティング、エンジニアリング、および実験的開発の間の相互作用に基づく、幾何学的インタラクティブモデルによるフレームワークがある [6]。そのような相互作用の重要性に関して、イノベーションを前提とするプログラムの実行には、R&D チームと関連組織間のコミュニケーションが不可欠との研究結果がでています [7]。一方で、こうした研究は定性的要因間、もしくは、定量的要因間といったどちらか一方のみを対象とした研究であり、定性的要因間、定量的要因間、および定性的要因と定量的要因間の相互作用を統合した領域まで広げた研究は十分成されていなかった。特に、企業内の R&D プロジェクトに関する数学的な R&D プロジェクトモデルとテキストマイニングの組み合わせは本研究が初めての試みです。

キーワード：研究開発マネジメント、定量・定性解析、モデルシミュレーション、自然言語処理、機械学習、ネットワーク分析

2. 研究の目的

本研究の最終的な目的は、日本企業のグローバルな競争力を高める目的のため、企業における研究開発 (R&D) プロジェクトを効果的に管理することで、R&D プロジェクトの成功例を多くすることを目標としている。そのために、日々の実務レベルで利用可能なマネジメントとしての管理ツールとして、R&D プロジェクトの現在の状況を可視化するとともに、問題点に明らかにし、その問題点を修正するフィードバックを与えることができることを物理磁性モデルで実証し、R&D プロジェクトの管理を改善する上でこのモデルの有効性を明らかにすることです。特に本研究では、定性的な企業文化、研究開発のやりかたといった部分を R&D プロジェクトリーダーからのインタビューをテキスト化し、テキストマイニングによる解析を行うことで問題点の抽出を試みました。

3. 研究の方法

特に本研究では、以下に簡略に述べる①R&D プロジェクトのモデル化、②モデルシミュレーション結果によるプロジェクト状態の可視化、③定性的な企業文化、研究開発のやりかたといった部分を R&D プロジェクトリーダーからのインタビューをテキスト化し、テキストマイニングによる解析を行いました。

<R&D プロジェクトのモデル化>

磁気統計物理学によると、1D イジングモデルには相転移がありませんが、正方格子の 2D イジングモデルは、相転移を説明する最も単純な統計モデルの 1 つです。現代の統計力学の発展における画期的な出来事は、L. Onsager による正方格子の 2D Ising モデルの正確な解です。自由エネルギーは高次元の数値シミュレーションによって計算され (3 次元以上)、自由エネルギーは数値シミュレーションによって計算されます。ただし、複雑なシステムを示す最近隣リンクのより高次元の研究は十分ではありませんでした。本研究では、上記のようなイジングモデルに基づいて、R&D プロジェクトに磁気物理モデルを適用しました。磁性材料の総エネルギーは、電子が最初に持つエネルギー、スピン間の相互作用、およびスピンの外部磁場から受け取るエネルギーの合計によって表されます。過去の既存研究から R&D プロジェクトに関するグループ分けから、R&D プロジェクトの 6 つの要素 (市場、技術、コスト、人材、メンタルモデル、デザイン) を磁性材料のスピンと見なした。電子の持つ固有のエネルギーは、企業における R&D プロジェクトの戦略の重要性と位置づけとを考えています。この部分を「要素スピンサイトエネルギー」と定義します。つまり、本質的には、このエネルギーは「企業における研究開発の位置づけ」と考えることができます。次に、これらの 6 つの R&D プロジェクト要素に作用するエネルギーは、磁性材料のイジングモデルの交換相互作用と見なされます。このエネルギーを「交換エネルギー」と定義しました。つまり、このエネルギーを「サイト相互作用エネルギー」とみなすことができます。最後に、R&D プロジェクトの外部の影響は、磁性材料の外部磁場と見なされます。

Ising モデルは、すべての原子をスピン $1/2$ システムと見なします。モンテカルロ法を用いた数値シミュレーションにより相転移を解明するために用いました。この研究では、各原子のスピン z 成分のみがイジングモデルで考慮され、スピンは $+1$ と -1 の 2 つの方向しか持てないと想定しています。さらに、各スピンはその隣接と相互作用する可能性があります。修正されたイジングモデルは 6 つのサイトで構成されており、各サイトにはアップ ($+1$) またはダウン (-1) の値を設定できます。システムの状態は次のように定義されます。

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} \quad (1)$$

R&D 成功状態（良好な MOT と健全な R&D アクティビティ）は、最も低いエネルギー状態として解釈されます。研究開発要素のエネルギーは、企業内の研究開発の状態または研究開発活動の状態を考慮します。相互作用エネルギーは、この研究では 6 つの R&D 要素間のネットワーク相互作用によって表されましたが、R&D 要素の数に制限はありません。

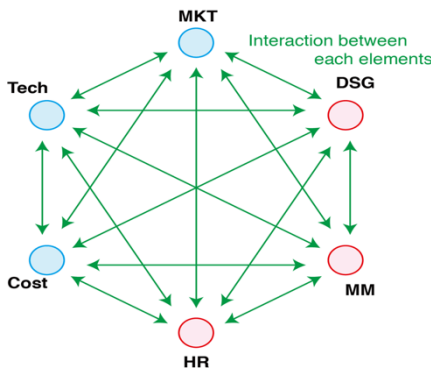


Fig. 1. Interactions among the six R&D elements

図 1 では、R&D プロジェクトにおける 6 つの要素間（MKT : Market、Tech : Technology、Cost : Cost、HR : Human Resource、MM : Mental Model、および DSG : Design）に相関関係があることを示しています。ここで、MKT は、潜在的な市場、市場動向、市場インテリジェンス、市場開発の適用、およびその他の市場関連の要因を表します。Tech は、製品プロセステクノロジー、知的財産、テクノロジーの競争、独創性、独自性、テクノロジーの創造性、テクノロジーの応用と開発、およびその他のテクノロジー関連の側面を表します。コストは、生産性、ビジネスの収益性、R&D ファイナンス、サプライチェーンのコスト（ロジスティクス）、製品のプロモーション、およびその他のコスト関連の要因を表します。HR は、人と組織、ヒューマンネットワークなどの内部資産、従業員の専門知識、R&D 意思決定システム、新しい R&

D プロジェクト提案システム、イノベーション管理システム、ビジョン、リーダーシップ、およびその他の HR 関連アイテムを表します。MM には、R&D アクティビティ、プロトタイプ思考、試行錯誤の実行、アブダクション（仮説推論）、グラウンデッドセオリーアプローチ、顧客志向アプローチ、プロダクトイン思考とプロダクトアウト思考のバランス、およびそれサポートの考え方に関連するその他の側面が含まれる。DSG は、ビジネスコンセプト、ビジネスモデル、ビジネスケース、製品コンセプト、製品の材料設計、R&D プロセス開発ロードマップの設計、およびその他の設計関連要素を表します。R&D アクティビティ要素で構成される R&D モデルは、次のように修正されたイジングモデルの形式で表されます。

$$[\text{R\&D energy}] = \sum_{i=1}^{\text{nsite}} (\text{R\&D element energies}) + \sum_{\langle i,j \rangle} (\text{Interaction Energy}) \quad (2)$$

R&D 活動要素で構成される R&D プロジェクトステータスモデルは、修正されたイジングモデルの形で次のように定義されています。

$$\mathcal{H} = \sum_{i=1}^{\text{nsite}} \mathcal{E}(\sigma_i) - \sum_{\langle i,j \rangle} \frac{\sigma_i J_{ij} \sigma_j}{d_{ij}} + \sum_i \mu H, \quad (3)$$

ここで、第 1、第 2、および第 3 項は、R&D 要素のスピンサイトエネルギー、サイト相互作用エネルギー、および外部エネルギーをそれぞれ示し、 \mathcal{H} は総エネルギーです。nsite の値は 6 で、これは前述の R&D アクティビティ要素の数に対応します（ただし、この数は 6 に限定されません）。 i 番目と j 番目の研究開発活動要素 σ_i と σ_j の間の相互作用についてそれぞれ説明しました。 \mathcal{E} はサイトエネルギー係数、 J_{ij} は i 番目と j 番目の要素間の交換相関エネルギーの行列、 H は外部エネルギー、 μ は外部エネルギー係数です。

次に、本研究で用いた動的イノベーションフェーズステータス（DIPS）モデルを定義します。条件が変わらなければ、外部エネルギーは一定なので、第 3 項は省略できます。したがって、R&D エネルギーは次のように表すことができます。本研究では、この数式モデルを使って、モデル解析とシミュレーションを行った。（詳細は[8,9]をご参照下さい。）

$$\mathcal{H} = \sum_{i=1}^{\text{nsite}} \mathcal{E}(\sigma_i) - \sum_{\langle i,j \rangle} \frac{\sigma_i J_{ij} \sigma_j}{d_{ij}}. \quad (4)$$

4. 研究成果

モデルシミュレーション解析によると、R&D プロセスの成功と失敗のケースの幾何学的構造を分類することができる。各要素間の相互作用の強さは、要素間の長さとして識別でき、長さが短いほど、要素間の強い相互作用を示します。したがって、要素間の最も強い相互作用は、距離がゼロのときに発生します。距

離が決定したら、図形を特定できます。たとえば、3点間の距離を決定すると、三角形（2次元の図）が生成されます。4点の場合、四角錐が形成されます（立体図）。したがって、6点の場合、5次元の図形が生成されます。5次元の図形は直接視覚化できないため、展開図として描く事としました。図2は定性側から定量側を可視化した図です。つまり、R&Dプロジェクトの成功事例では、四角錐が閉じて潰れた形状、失敗例では四角錐が離れて開いた形状となります。

本研究のA社において分析したR&Dプロジェクトの成功事例と失敗事例では、所期の幾何学的構造分類の結果を得ることが出来た。以下、プロジェクト失敗事例について詳細を述べる。モデルシミュレーションの結果、失敗プロジェクトの場合、6つのR&D要素間の相互作用は弱くまたは負に機能します。幾何学的には、相互作用の大きさは距離の逆数、 $|J_{ij}|$ によって表されます。6つの要素が互いに阻害する相互作用を持ち、 $J_{ij} < 0$ であることを示しています。一方、成功したケースでは、6つのR&Dプロジェクトの要素間の相互作用が有効に機能します。幾何学的には、要素間の長い結合または短い結合は弱い相互作用または強い相互作用を示し、要素間の短い結合は強い相互作用をそれぞれ示します。図2で示された赤、青、白の各要素間の結合の色は、相互作用がそれぞれ正、負、ゼロであることを示します。プロジェクト成功例では6つのR&D要素が協調的であり、プロジェクト失敗例では6つのR&D要素が相互に排他的であったことを示すことができます。要素間の引力を示す方向（図2で赤い結合として示されている）は、引力が要素間の距離を短くするため、反発を示す方向（図では青い結合として示されている）よりも好ましい。

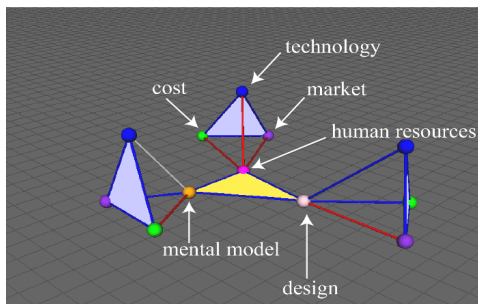


TABLE I. DISTANCES AMONG R&D ELEMENTS IN FAILURE CASE

	Left side group(LSG)			Right side group(RSG)		
	MKT	cost	Tech	HR	MM	DSG
LSG						
MKT	0.000	-3.312	-2.425	7.500	-2.500	7.000
cost	-3.312	0.000	-4.092	5.333	1.000	-9.000
Tech	-2.425	-4.092	0.000	8.500	2.800	-5.000
RSG						
HR	7.500	5.333	8.500	0.000	-2.111	-4.000
MM	-2.500	1.000	2.800	-2.111	0.000	-7.000
DSG	7.000	-9.000	-5.000	-4.000	-7.000	0.000

Fig. 2. Visualization of R&D elements in failure case for Company A.

図2中の6色の球は、それぞれ前述の6つのR&D要素（MKT、Tech、Cost、HR、MM、DSG）に対応しています。球間の結合はR&D要素間の相互作用を示し、結合の長さは相互作用の強さを示し、赤と青の結合色はそれぞれ正と負の相互作用に対応します。黄色と青色の三角形は、それぞれRSG（HR、MM、およびDSG）とLSG（MKT、Tech、およびCost）の相互作用ネットワークを示します。故障の場合のR&D要素の視覚化は、PICMET '16 および PICMET '17 で報告したものと同一結果であり、開いた四面体の形状である[8,9]。モデルシミュレーション結果の多数の負の相関は、6つの項目間が十分に考慮されていなかったことを示しています。距離は、R&D要素間の相互作用の強さを示します。正と負の値は、それぞれR&D要素間の正と負の相互作用を示します。各R&D要素の自己相互作用はゼロとして定義されます。

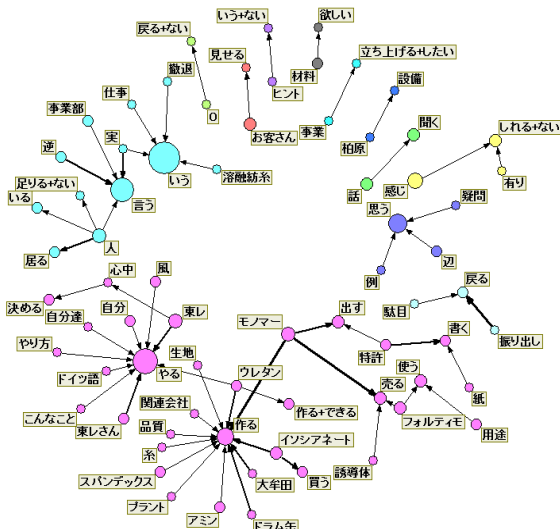


図3 A社の故障事例における有向グラフネットワーク（依存度2以上）

表Iは、A社のR&Dプロジェクトの失敗事例における距離の結果を示しています。ここで、R&Dプロジェクトの失敗の定義は、事業が開始される前にR&Dプロジェクトが停止されることです。数値が大きいほど、要素間の相互作用が低いことを示します。したがって、コストと設計の間の最大数は、15の組み合わせの中で最も相関相互作用が小さいことを示します。（つまり、殆ど考慮されていなかったと解釈できます。）距離に基づいて、DSGとコスト、HRとTech、およびHRとMKTは、3つの組み合わせの中でより大きい数を表します。したがって、製品コストを考慮せずに製品開発が進んだこと、市場が十分に理解されていないこと、実際の顧客が必要とする技術が開発されていなかったことだと解釈することができます。当時のプロジェクトリーダーにインタビューすることで、これらの解釈がプロジェクトの正しい理解であるかどうかを確認しようとした。尚、インタビュアー（テキストマイニングアナリスト）は、2度の新規ビジネス開発経験（新しい市場を生み出す新しい材料開発）と本事例に関連するアプリケーションと業界の知識を持っていました。

図 3 に音声インタビュー内容のテキストマイニング分析結果を示します。このテキストマイニングアプローチは、第 23 回知識ベースおよびインテリジェント情報およびエンジニアリングシステムに関する国際会議 [10] で議論されました。着色された球のサイズは回数を示します。矢印の方向は依存関係を示します。ピンク、青、黄色、紫は、それぞれ研究活動、事業単位活動、地域の視点、経営の視点に対応しています。青いクラスターで示されているように、プロジェクトが事業部方針に従って進行していることは明らかで、市場のバリューチェーンと実際の顧客のニーズを十分に理解していなかった事を示しています。紫と黄色のクラスターは、R&D プロジェクトの将来に関して閉塞と不確実性があることを示しています。

V. 結論

本研究の目的である、磁気物理モデルシミュレーションを使用した可視化により、R&D プロジェクトマネジメントとしての管理ツールとして、R&D プロジェクトの現在の状況を可視化するとともに、問題点に明らかにし、その問題点を修正するフィードバック与えることができることを物理磁性モデルで実証し、R&D プロジェクトの管理を改善する上でこのモデルの有効性を明らかにすることができました。特に本研究では、定性的な企業文化、研究開発のやりかたといった部分を R&D プロジェクトリーダーからの音声インタビューをテキスト化し、テキストマイニングによる解析を行うことで問題点の抽出を試み、テキストマイニングによる質的要素の分析に焦点を当てたところ、この手法が適切であることがわかりました。したがって、テキストマイニングによる定量的データ分析に基づく新しい発見は、従来の磁性物理モデル評価方法に組み込むことができる可能性を見出すことが出来ました。その結果、本研究で用いる磁性物理モデルによる R&D プロジェクトの解析方法論は精度の点で未だ検討の余地が十分残されているが、このモデルとインタビューレポートのテキストマイニングを組み合わせることで、R&D プロジェクトの状態をプロジェクト経験やその研究内容を除いて誰でもが解析できる可能性が示唆された。加えて、将来オープンイノベーションマネジメントシステムとして、ISO5600 が認証制度として施行された際に、有益な R&D 管理標準ツールになり得る可能性があることが示唆された。

また、この研究では、実在の化学企業における R&D プロジェクトの事業化に至った成功事例と中止された失敗事例に関するインタビューレポートのテキストマイニングに物理磁性モデルを利用できる実際の解析例を論文として公開することができました。以上に記述された結果がでたことにより、従来の磁性物理 (6 次元) モデルの定性的部分の解析に於いて、経験からくる属人的なモデルの結果の解析を自然言語処理を使った定量的な解析に置き換えることができる研究を立ち上げることが出来るようになり、研究を立ち上げることができた。将来的には、他の業界を検討し、アプローチを評価し、インタビューからフィードバック分析を取得する予定です。今後の研究では、このアプローチを多数の R&D プロジェクトのケースに適用し、暗黙の知識と視覚化の間のギャップを理解して減らすことに焦点を当てたいと考えます。

<参考資料>

- [1] R. G. Cooper, "Perspective: The innovation dilemma: How to innovate when the market is mature," *J. Prod. Innov. Manag.*, vol. 28, no. S1, pp. 2-27, 2011.
- [2] K. Kuwahima and T. Fujimoto, "Effective product process study in a chemical industry- Analytical framework and empirical study," *Keizaigakuronyu* vol. 67, pp. 91-127, 2001.
- [3] R. G. Cooper and E. J. Kleinschmidt, "Screening new products for potential winners," *IEEE Trans. Eng. Manag.*, vol. 22, no. 4, pp. 22-30, 1994.
- [4] Y. Wind, "Marketing and the other business functions," *Res. Market.*, vol. 5, pp. 237-264, 1981.
- [5] G. Bell and M. Callon, "Techno-economic networks and science and technology policy," *OECD STI Rev.*, vol. 14, pp. 59-61, 1994.
- [6] A. Cantisani, "Technological innovation process revisited," *Technovation*, vol. 26, pp. 1294-1301, 2006.
- [7] M. Shimoda, "Research on R&D project management method in high-tech manufacturing industry," Ph.D. thesis, Chiba Institute of Technology, 2017.
- [8] H. Hayashida, H. Funashima, and H. Katayama-Yoshida, "Theoretical study of the quantitative analysis for the R&D process based on the modified Ising model: Cyclic olefin polymer of Zeon Corporation case study," *Proc. PICMET'15*, pp. 1809-1822, PICMET, Portland, OR, USA (2015).
- [9] H. Hayashida, H. Funashima, and H. Katayama-Yoshida, "Opening the door for the new methodology for optimizing functional material development in technology management framework," *Proc. PICMET'16*, pp. 1-13, PICMET, Honolulu, HI, USA, 2016.
- [10] H. Hayashida, M. Takahashi, and H. Funashima, "Novel validation method for the R&D project status visualization," *Procedia Comp. Sci.*, vol. 159, pp. 1295-1304, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Hideki Hayashida, Masakazu Takahashi, Hiroki Funashima	4. 巻 159
2. 論文標題 Novel Validation Method for the R&D Project Status Visualization	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Procedia Computer Science	6. 最初と最後の頁 1295-1304
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Akira Kanazawa, Hideki Hayashida	4. 巻 7(1)
2. 論文標題 Proactive Scheme of Production Engineering Div. in Product Development : Spontaneous Concurrent Scheme at Production Engineering Div. Collaboration with Product Development Div.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International journal of Japan Society for Production Management	6. 最初と最後の頁 87-92
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Hideki Hayashida
2. 発表標題 Novel Validation Method for the R&D Project Status Visualization in Open-Innovation model
3. 学会等名 人工知能学会（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 林田英樹
2. 発表標題 オープンイノベーション -企業と大学のギャップ-
3. 学会等名 R&Dプロジェクトマネジメント研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<http://web.tuat.ac.jp/~hideki-hayashida/>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----