



RIETI Discussion Paper Series 21-J-011

第四次産業革命に関連した特許出願と 雇用と生産性のダイナミクスの関係性

池内 健太
経済産業研究所



Research Institute of Economy, Trade & Industry, IAA

独立行政法人経済産業研究所

<https://www.rieti.go.jp/jp/>

第四次産業革命に関連した特許出願と雇用と生産性のダイナミクスの関係性*

池内健太（経済産業研究所）

要 旨

近年、産業構造を大きく変化をもたらす「第四次産業革命」として、人工知能（AI）やIoTといった新しいデジタル関連技術の発展とその産業応用に注目が高まっている。一方、国・産業レベルのデータを用いた先行研究では、デジタル化の進展は企業間の生産性格差を拡大し、市場のダイナミクスを低下させるという指摘もある。そこで本研究では、AI・IoTなどの第四次産業革命に関連した技術の発展と市場ダイナミクスとの関係性について日本のデータを用いて分析を行う。特許データを経済産業省企業活動基本調査、工業統計調査、事業所・企業統計調査及び経済センサス - 基礎調査及び経済センサス - 活動調査を接続した企業レベルのパネルデータを構築し、AI・IoTなどの第四次産業革命に関連した研究開発への取り組みが事業所・企業の生産性上昇と雇用成長にどのように関わっているかを検証し、政策的な含意について議論する。本研究の分析結果はAI・IoTといった第四次産業革命に関連した技術の発展は企業の生産性と雇用のダイナミクスと関連している可能性を示しており、AI関連技術の開発は特に中堅・大企業に恩恵をもたらし、中小企業への恩恵は限定的であった。

キーワード：産業革命、人工知能、IoT、特許、雇用、生産性、ダイナミクス

JEL classification: O32, O33

RIETI ディスカッション・ペーパーは、専門論文の形式でまとめられた研究成果を公開し、活発な議論を喚起することを目的としています。論文に述べられている見解は執筆者個人の責任で発表するものであり、所属する組織及び（独）経済産業研究所としての見解を示すものではありません。

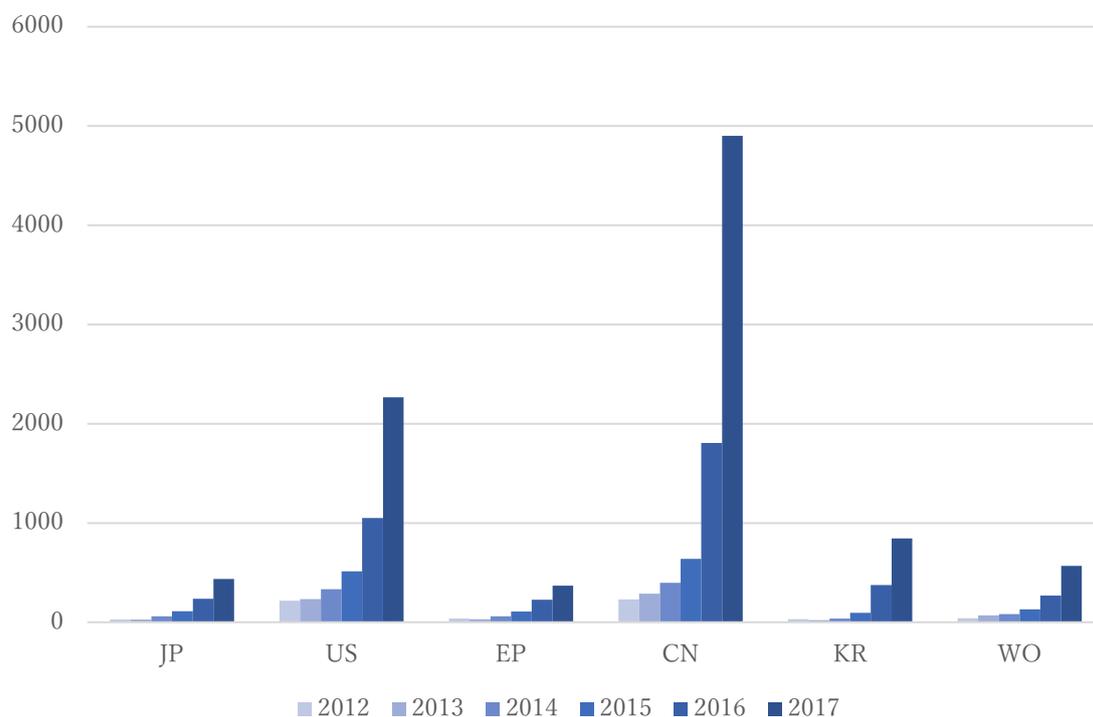
*本稿は、独立行政法人経済産業研究所（RIETI）におけるプロジェクト「東アジア産業生産性」の成果の一部である。本稿の分析に当たっては、経済産業省「企業活動基本調査」「工業統計調査」、総務省「経済センサス - 基礎調査」「経済センサス - 活動調査」「事業所・企業統計調査」の調査票情報およびRIETI提供による工業統計コンバータを利用した。また、本稿の原案に対して、経済産業研究所ディスカッション・ペーパー検討会の方々から多くの有益なコメントを頂いた。ここに記して、感謝の意を表したい。本研究はJSPS 科研費 18K12787 の助成を受けたものである。

1. はじめに

近年、産業構造を大きく変化をもたらす「第四次産業革命」として、人工知能 (AI) や IoT といった新しいデジタル関連技術の発展とその産業応用に注目が高まっている。一方、国・産業レベルのデータを用いた先行研究では、デジタル化の進展は企業間の生産性格差を拡大し、市場のダイナミクスを低下させるという指摘もある (Berlingieri et al. 2017a, 2020; Calvino and Criscuolo 2019)。しかしながら、これらの第四次産業革命に関連した技術の発展が企業の生産性や雇用のダイナミクスにどのような影響をもたらすのか、についての実証研究は最近行われるようになってきたが、データの制約などの理由から未だに発展途上の研究領域である (Damioli et al. 2021; Bassetti et al. 2020)。

特許庁 (2020) によると、AI 関連発明の出願件数は第三次 AI ブームの影響で 2014 年以降急増しており、その主役はニューラルネットワークを含む機械学習技術、中でも深層学習に関する発明が急増していることがわかっている。2018 年においては、AI 関連発明の約半数は出願書類中で深層学習技術に言及している。AI の適用先としては画像処理や情報検索分野の出願件数が特に多く、伸び率では依然として制御・ロボティクス関連分野が高いが、医学診断の分野で高い伸び率が認められる。出願人別の出願動向をみると、自社事業に関連する分野に AI を活用する傾向がわかっている。AI に関する IPC:G06N が付与されている出願は各国で増加傾向となっており、中でも米中に出願件数は突出している。特に、中国の出願件数は昨年引き続き倍増している (図 1)。

図 1 G06N3/02-3/10 (ニューラルネット関連) が付与されている各国出願件数の推移



出典：特許庁（2020）『AI 関連発明の出願状況調査 報告書』（図 15）
https://www.jpo.go.jp/system/patent/gaiyo/sesaku/ai/ai_shutsugan_chosa.html

そこで本研究では、AI や IoT などの第四次産業革命に関連した技術の発展と市場ダイナミクスとの関係性について日本のデータを用いて分析を行う。特許データの出願人を経済産業省「企業活動基本調査」「工業統計調査」、総務省「事業所・企業統計調査」「経済センサス-基礎調査」「経済センサス-活動調査」に接続した企業レベルのパネルデータを構築し、AI や IoT などの第四次産業革命に関連した研究開発への取り組みが事業所・企業の生産性上昇と雇用成長にどのように関わっているかを検証し、政策的な含意について議論する。

なお、「経済産業省企業活動基本調査」では主に中堅企業と大企業を中心とした分析を行い、「工業統計調査」及び「経済センサス-活動調査（製造業）」を用いて中小企業を含めた長期の製造業の分析、「事業所・企業統計調査」及び「経済センサス-基礎調査（全産業）」と「経済センサス-活動調査（全産業）」を用いて中小企業を含めた全産業の雇用の動向の分析、「経済センサス-活動調査（全産業）」を用いて全産業の中小企業を含めた生産性の動向の分析をそれぞれ行う。また、本研究では OECD/WPIA の DynEmp/MultiProd プロジェクトで開発された分析プログラムを用いることで、国際比較が可能な形で分析を行う。

2. データと分析方法

本研究では、AI・IoT 関連技術の研究開発と事業所・企業レベルの雇用と生産性のダイナミクスに関する分析を行う。本研究において分析に用いるデータソースは以下のとおりである。

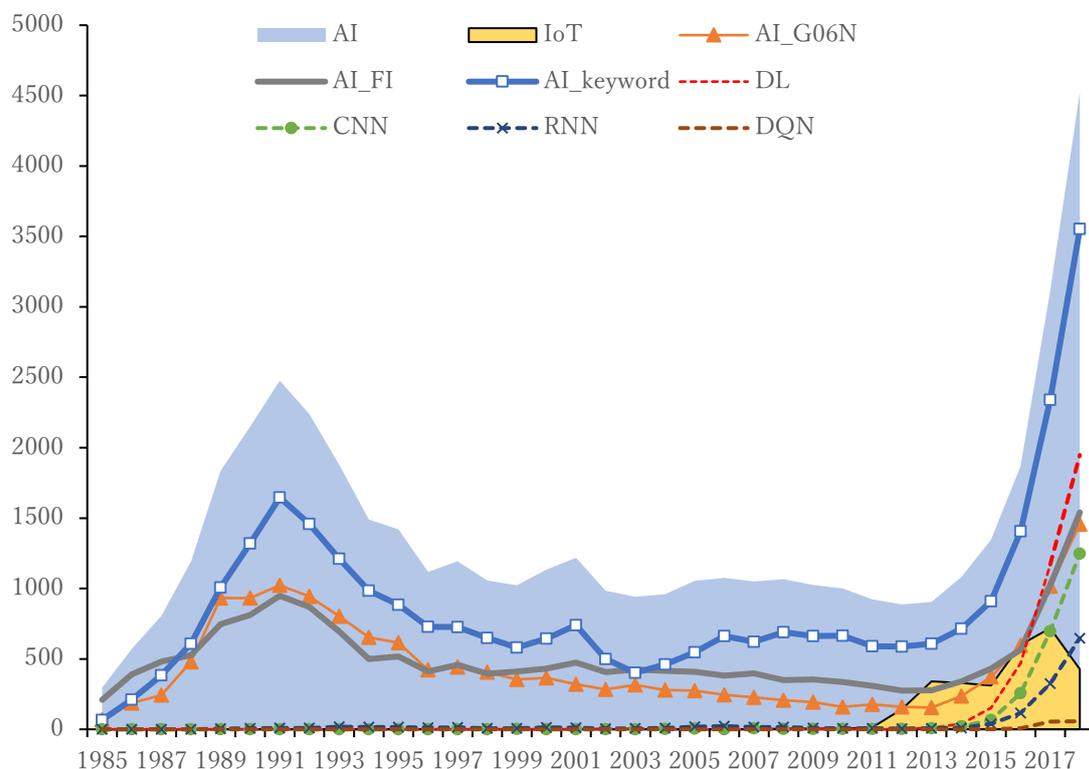
- (1) 経済産業省「経済産業省企業活動基本調査」の調査票情報（1992 年・1995 年～2018 年調査）
- (2) 経済産業省「工業統計調査」の調査票情報（1994 年～2018 年調査）
- (3) 総務省「事業所・企業統計調査」（1996・1999・2001・2006 年調査）、「経済センサス - 基礎調査」（2009 年・2014 年調査）及び「経済センサス - 活動調査」の調査票情報（2012 年・2016 年調査）
- (4) 知的財産研究所「IIP パテントデータベース（2020 年版）」
- (5) 特許庁「J-PlatPat」(<https://www.j-platpat.inpit.go.jp/>)（2018 年まで）

「IIP パテントデータベース（2020 年版）」に収録された特許の出願人の名称と住所情報を「経済産業省企業活動基本調査」、「工業統計調査」及び「経済センサス - 活動調査（製造業）」、「事業所・企業統計調査」及び「経済センサス-基礎調査（全産業）」及び「経済センサス-活動調査（全産業）」の名簿データに事業所・企業レベルで接続し、特許データから把握された企業の AI・ロボット技術に関連する研究開発への取り組みと事業所・企業の生産性と雇用の関係性を分析する。

特許庁（2020）の定義に従って、特許庁「J-PlatPat」を用いて AI 技術関連特許を検索する。一方、IoT 技術関連特許については特許庁（2017）を参考に、「J-PlatPat」に収録された「広域ファセット分類記号」を用いて検索する。このように収集した AI・IoT 技術関連特許の出願件数は図 2 のとおりである。

「経済産業省企業活動基本調査」は企業レベルでパネルデータ化する。また、「工業統計調査」は事業所レベルのデータを企業レベルに集計して、事業所の変遷情報を活用してパネルデータ化する。同様に、総務省「事業所・企業統計調査」、「経済センサス - 基礎調査」及び「経済センサス - 活動調査」についても本社事業所の変遷情報を用いて企業レベルのパネルデータを構築して、分析を行う。

図 2 日本における AI・IoT 関連特許の出願数

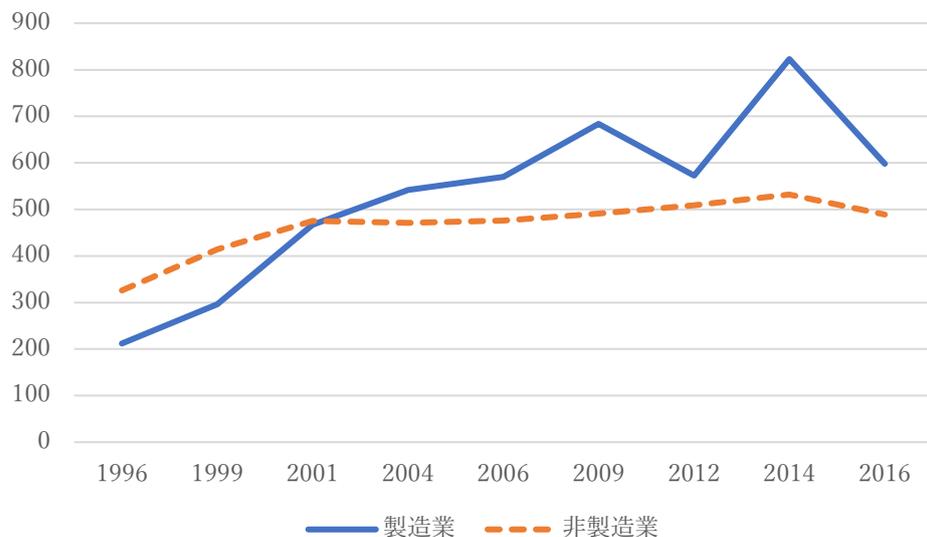


出所：特許庁「J-PlatPat」から特許庁（2020）及び特許庁（2017）の定義に従って抽出。

注：AI：AI 関連特許、IoT：IoT 関連特許、AI_G06N：AI コア発明、AI_FI：AI 関連 FI が付与されている特許、AI_keyword：AI コアキーワードが「要約」、「発明が解決しようとする課題」、「課題を解決するための手段」のいずれかに含まれている特許、DL：深層学習（Deep Learning）技術関連特許、CNN：畳み込みニューラルネットワーク（Convolutional Neural Network）関連特許、RNN：再帰ニューラルネット（Recurrent Neural Network）関連特許、DQN：深層強化学習（Deep Q-Network）関連特許。

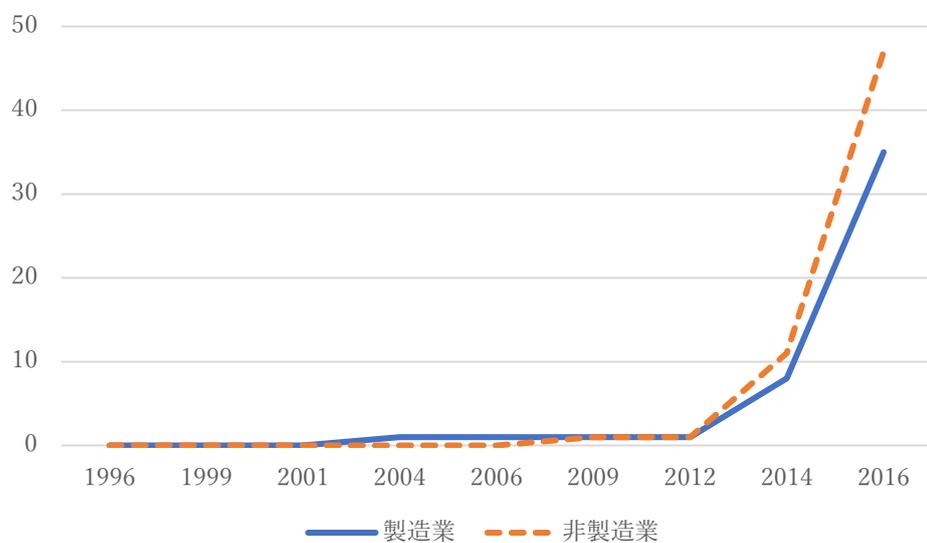
図 3～図 5 に総務省「事業所・企業統計調査」、「経済センサス-基礎調査」及び「経済センサス-活動調査」をベースとした AI 関連及び IoT 関連特許の出願企業数の推移を示している。図 3 によると、AI 関連特許を出願している企業は製造業において増加しているが、非製造業ではほぼ横ばいである。ただし、図 4 によると AI 関連のうち深層学習関連特許については製造業と非製造業の両方で近年急激に出願企業数が増加している。同様に、製造業及び非製造業の両方で IoT 関連特許を出願している企業も近年急激に増加している（図 5）。

図 3 AI 関連特許出願企業数



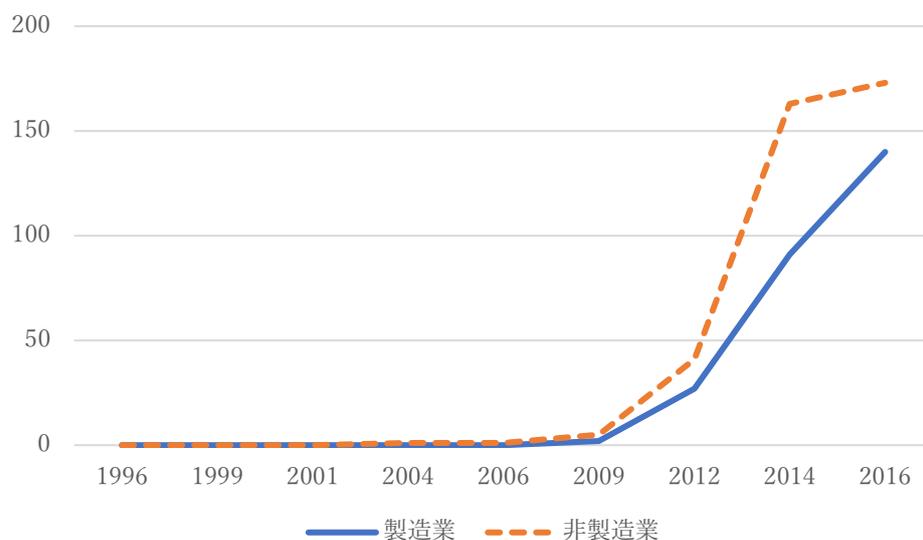
出所：特許庁「J-PlatPat」と総務省「事業所・企業統計調査」、「経済センサス-基礎調査」及び「経済センサス-活動調査」に基づいて筆者作成。

図 4 深層学習関連特許出願企業数



出所：特許庁「J-PlatPat」と総務省「事業所・企業統計調査」、「経済センサス-基礎調査」及び「経済センサス-活動調査」に基づいて筆者作成。

図 5 IoT 関連特許出願企業数



出所：特許庁「J-PlatPat」と総務省「事業所・企業統計調査」、「経済センサス-基礎調査」及び「経済センサス-活動調査」に基づいて筆者作成。

また、上記の方法で構築した事業所及び企業レベルのパネルデータに、OECD の MultiProd プロジェクト (Berlingieri et al. 2017b) 及び DynEmp プロジェクト (Crisuolo et al. 2014) が提供するプログラムを適用することによって、産業別の雇用と生産性のダイナミクスに関する国際比較に協力する。詳細は池内他 (2019) を参照されたい。

3. 分析結果

3.1 企業活動基本調査を用いた非製造業を含む中堅・大企業の分析結果

表 1～表 3 は「経済産業省企業活動基本調査」を用いた、非製造業を含む中堅・大企業のサンプルに関する分析結果を示している。表 1 は労働生産性を従属変数とする固定効果モデルによる分析結果であり、特許出願ダミーと IoT 関連特許出願ダミーの係数は正で有意であるが、AI 関連特許出願ダミーの係数は有意でない。特許出願数、被引用回数を考慮した結果でも概ね同様の結果である。

表 1 中堅・大企業の労働生産性の決定要因 (1992～2018 年)

	[1]	[2]	[3]
Ln.従業者数	-0.665*** (0.00457)	-0.665*** (0.00457)	-0.665*** (0.00457)
Ln.有形固定資産	0.167*** (0.00315)	0.167*** (0.00315)	0.167*** (0.00315)
R&D 実施ダミー (1 年ラグ)	0.00814** (0.00320)	0.00868*** (0.00320)	0.00861*** (0.00320)
Ln.R&D 投資 (1 年ラグ)	0.0193*** (0.00130)	0.0194*** (0.00131)	0.0195*** (0.00131)
特許出願ダミー (2 年ラグ)	0.0171*** (0.00238)		
AI 関連特許出願ダミー (2 年ラグ)	0.0220 (0.0147)		
IoT 関連特許出願ダミー (2 年ラグ)	0.0809*** (0.0283)		
特許出願数 (2 年ラグ)		0.0000609*** (0.0000216)	
AI 関連特許出願数 (2 年ラグ)		-0.000911 (0.00210)	
IoT 関連特許出願数 (2 年ラグ)		0.0139* (0.00766)	
AI 関連特許被引用回数 (2 年ラグ)			0.000781 (0.00116)
IoT 関連特許被引用回数 (2 年ラグ)			0.00552 (0.00418)
定数項	5.745*** (0.0218)	5.747*** (0.0218)	5.747*** (0.0218)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	502,712	502,712	502,712
決定係数	0.944	0.944	0.944
自由度修正済み決定係数	0.938	0.938	0.938
企業数	45,594	45,594	45,594

注：企業レベルの固定効果モデル、企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。

* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

次に、表 2 は従属変数を労働生産性の上昇率とした分析結果である。この場合、特許出願ダミーに加えて、AI 関連特許出願ダミーの係数が正で有意である。しかしながら、特許の出願数を用いた場合、AI 特許の係数は負で有意である。ただし、被引用回数を考慮した場合、AI 関連特許に加えて、IoT 関連特許が労働生産性上昇率に与える効果も正で有意となる。

表 2 中堅・大企業の労働生産性の上昇率の決定要因 (1992~2018 年)

	[1]	[2]	[3]
企業年齢	-0.00266*** (0.000118)	-0.00266*** (0.000118)	-0.00267*** (0.000118)
企業年齢の対数	0.0000198*** (0.00000124)	0.0000198*** (0.00000125)	0.0000199*** (0.00000125)
Ln.労働生産性 (1 年ラグ)	-0.105*** (0.00145)	-0.105*** (0.00145)	-0.105*** (0.00145)
Ln.従業者数	0.0193*** (0.000857)	0.0200*** (0.000838)	0.0197*** (0.000855)
Ln.有形固定資産	0.0225*** (0.000645)	0.0226*** (0.000646)	0.0225*** (0.000645)
R&D 実施ダミー (1 年ラグ)	-0.0221*** (0.00184)	-0.0201*** (0.00183)	-0.0228*** (0.00184)
Ln.R&D 投資 (1 年ラグ)	0.0141*** (0.000660)	0.0144*** (0.000665)	0.0145*** (0.000660)
特許出願ダミー (2 年ラグ)	0.00895*** (0.00176)		0.00930*** (0.00176)
AI 関連特許出願ダミー (2 年ラグ)	0.0521*** (0.00962)		
IoT 関連特許出願ダミー (2 年ラグ)	0.0526* (0.0274)		
特許出願数 (2 年ラグ)		0.0000415*** (0.0000124)	
AI 関連特許出願数 (2 年ラグ)		-0.00412** (0.00171)	
IoT 関連特許出願数 (2 年ラグ)		0.00787 (0.00763)	
AI 関連特許被引用回数 (2 年ラグ)			0.00127*** (0.000469)
IoT 関連特許被引用回数 (2 年ラグ)			0.00968** (0.00472)
定数項	0.495*** (0.00767)	0.493*** (0.00766)	0.492*** (0.00765)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	506,157	506,157	506,157
決定係数	0.075	0.075	0.075
自由度修正済み決定係数	0.069	0.069	0.069
企業数	49,716	49,716	49,716

注：企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

表 3 は雇用成長率を従属変数とする分析結果であり、AI 関連特許・IoT 関連特許の効果は統計的に有意ではない。

表 3 中堅・大企業の雇用成長率の決定要因 (1992~2018 年)

	[1]	[2]	[3]
企業年齢	0.000226*** (0.0000798)	0.000230*** (0.0000797)	0.000227*** (0.0000798)
企業年齢の対数	-0.00000165** (0.000000815)	-0.00000161** (0.000000813)	-0.00000167** (0.000000815)
Ln.労働生産性 (1 年ラグ)	0.0360*** (0.000850)	0.0363*** (0.000853)	0.0359*** (0.000850)
Ln.従業者数	-0.0354*** (0.000728)	-0.0348*** (0.000708)	-0.0355*** (0.000725)
Ln.有形固定資産	0.00101** (0.000400)	0.00106*** (0.000400)	0.00101** (0.000400)
R&D 実施ダミー (1 年ラグ)	0.00987*** (0.00145)	0.0110*** (0.00144)	0.00999*** (0.00145)
Ln.R&D 投資 (1 年ラグ)	-0.00255*** (0.000496)	-0.00207*** (0.000494)	-0.00262*** (0.000495)
特許出願ダミー (2 年ラグ)	0.00732*** (0.00128)		0.00730*** (0.00129)
AI 関連特許出願ダミー (2 年ラグ)	-0.00356 (0.00731)		
IoT 関連特許出願ダミー (2 年ラグ)	-0.0211 (0.0209)		
特許出願数 (2 年ラグ)		-0.00000821 (0.00000584)	
AI 関連特許出願数 (2 年ラグ)		0.00135 (0.000964)	
IoT 関連特許出願数 (2 年ラグ)		-0.00625 (0.00541)	
AI 関連特許被引用回数 (2 年ラグ)			0.000338 (0.000356)
IoT 関連特許被引用回数 (2 年ラグ)			-0.00489 (0.00381)
定数項	-0.153*** (0.00471)	-0.156*** (0.00472)	-0.152*** (0.00471)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	507,013	507,013	507,013
決定係数	0.046	0.046	0.046
自由度修正済み決定係数	0.040	0.039	0.040
企業数	49,772	49,772	49,772

注：企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

表 4 は産業別の分析結果を示している。製造業でのみ AI 関連特許の労働生産性（LP）の上昇率に対する統計的に有意な正の効果が見られ、製造業の雇用成長率及び非製造業の労働生産性上昇率と雇用成長率には AI 関連特許・IoT 関連特許の統計的に有意な効果が見られない。

表 4 中堅・大企業の産業別の分析結果（1992～2018 年）

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
	製造業		情報サービス除く非製造業		情報サービス業	
	LP 上昇率	雇用成長率	LP 上昇率	雇用成長率	LP 上昇率	雇用成長率
企業年齢	-0.00300*** (0.000160)	0.000458*** (0.0000952)	-0.00238*** (0.000184)	0.0000418 (0.000136)	-0.000828 (0.000653)	-0.00104** (0.000498)
企業年齢の自乗	0.0000210*** (0.00000162)	-0.00000203** (0.000000966)	0.0000202*** (0.00000201)	-0.00000286** (0.00000142)	-0.00000328 (0.00000977)	0.0000167** (0.00000780)
Ln.労働生産性（1年ラグ）	-0.115*** (0.00234)	0.0225*** (0.000910)	-0.107*** (0.00216)	0.0506*** (0.00150)	-0.0855*** (0.00539)	0.0209*** (0.00293)
Ln.従業者数	0.0151*** (0.00119)	-0.0367*** (0.000900)	0.0211*** (0.00121)	-0.0326*** (0.00107)	0.0303*** (0.00473)	-0.0524*** (0.00398)
Ln.有形固定資産	0.0398*** (0.00136)	0.00120** (0.000566)	0.0154*** (0.000825)	0.00114* (0.000591)	0.00881*** (0.00177)	0.00586*** (0.00119)
R&D 実施ダミー（1年ラグ）	-0.0291*** (0.00225)	0.00886*** (0.00155)	-0.00329 (0.00337)	0.000837 (0.00289)	-0.0202* (0.0108)	0.0117 (0.00880)
Ln.R&D 投資（1年ラグ）	0.0146*** (0.000787)	0.000809 (0.000508)	0.0127*** (0.00150)	-0.00707*** (0.00126)	0.0104*** (0.00402)	-0.00283 (0.00335)
特許出願ダミー（2年ラグ）	0.00122 (0.00204)	0.0131*** (0.00142)	0.0304*** (0.00370)	-0.00950*** (0.00285)	0.0282*** (0.00982)	-0.00463 (0.00721)
AI 関連特許出願ダミー（2年ラグ）	0.0618*** (0.00997)	-0.00361 (0.00699)	0.0142 (0.0295)	0.0305 (0.0232)	0.0232 (0.0377)	0.0163 (0.0329)
IoT 関連特許出願ダミー（2年ラグ）	0.0322 (0.0349)	-0.0147 (0.0236)	0.0828 (0.0559)	-0.0324 (0.0406)	0.0864 (0.0746)	-0.00284 (0.0722)
定数項	0.503*** (0.0108)	-0.122*** (0.00531)	0.471*** (0.0113)	-0.181*** (0.00782)	0.509*** (0.0344)	-0.0805*** (0.0189)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	246,053	246,525	238,113	238,466	21,991	22,022
決定係数	0.079	0.038	0.076	0.053	0.051	0.042
自由度修正済み決定係数	0.075	0.032	0.069	0.046	0.049	0.040
企業数	23,058	23,088	27,923	27,953	3,051	3,054

注：企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

3.2 工業統計調査を用いた中小企業を含めた製造業の分析結果

次に、中小企業も含めたサンプルでの傾向を確認するため、「工業統計調査」を用いた分析結果を表 5～表 7 に示す。表 5 は労働生産性の自然対数を従属変数とした固定効果モデルによる分析結果であり、AI・IoT 関連を含めて特許出願の統計的に有意な効果はみられない。このような傾向は表 6 の労働生産性上昇率、表 7 の雇用成長率のモデルをみても同様であり、AI・IoT 関連を含めて特許出願の統計的に有意な効果はみられない。中小企業は AI・IoT 関連技術の恩恵を受けていない可能性が考えられる。

表 5 中小企業を含めた製造業の労働生産性の決定要因 (1994～2015 年)

	[1]	[2]	[3]
Ln.有形固定資産	0.0706*** (0.00122)	0.0706*** (0.00122)	0.0706*** (0.00122)
Ln.従業者数	-0.00665*** (0.00256)	-0.00669*** (0.00256)	-0.00671*** (0.00256)
特許出願ダミー (2 年ラグ)	-0.00309 (0.00272)		
AI 関連特許出願ダミー (2 年ラグ)	-0.0271 (0.0301)		
IoT 関連特許出願ダミー (2 年ラグ)	-0.0718 (0.0757)		
特許出願数 (2 年ラグ)		-0.0000163 (0.0000284)	
AI 関連特許出願数 (2 年ラグ)		-0.00119 (0.00400)	
IoT 関連特許出願数 (2 年ラグ)		-0.0285 (0.0215)	
AI 関連特許被引用回数 (2 年ラグ)			-0.00133 (0.000925)
IoT 関連特許被引用回数 (2 年ラグ)			-0.0318** (0.0160)
定数項	6.213*** (0.0115)	6.213*** (0.0115)	6.213*** (0.0115)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	1,121,737	1,121,737	1,121,737
決定係数	0.762	0.762	0.762
自由度修正済み決定係数	0.719	0.719	0.719
企業数	162,394	162,394	162,394

注：企業レベルの固定効果モデル、企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。

* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

表 6 中小企業を含めた製造業の労働生産性上昇率の決定要因 (1994~2015 年)

	[1]	[2]	[3]
企業年齢	-0.00270*** (0.000687)	-0.00267*** (0.000687)	-0.00267*** (0.000687)
企業年齢の対数	0.0000726** (0.0000310)	0.0000724** (0.0000311)	0.0000724** (0.0000311)
Ln.労働生産性 (1年ラグ)	-0.264*** (0.00166)	-0.264*** (0.00165)	-0.264*** (0.00165)
Ln.有形固定資産	0.0415*** (0.000555)	0.0430*** (0.000541)	0.0431*** (0.000541)
Ln.従業者数	0.0360*** (0.000481)	0.0362*** (0.000481)	0.0362*** (0.000481)
特許出願ダミー (2年ラグ)	0.0246*** (0.00186)		
AI 関連特許出願ダミー (2年ラグ)	-0.00167 (0.0169)		
IoT 関連特許出願ダミー (2年ラグ)	-0.133** (0.0656)		
特許出願数 (2年ラグ)		0.0000317*** (0.00000949)	
AI 関連特許出願数 (2年ラグ)		-0.00439*** (0.00165)	
IoT 関連特許出願数 (2年ラグ)		-0.0306* (0.0168)	
AI 関連特許被引用回数 (2年ラグ)			0.000375 (0.000679)
IoT 関連特許被引用回数 (2年ラグ)			-0.0207** (0.00864)
定数項	1.403*** (0.00967)	1.395*** (0.00959)	1.394*** (0.00958)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	1,133,888	1,133,888	1,133,888
決定係数	0.143	0.143	0.143
自由度修正済み決定係数	0.136	0.136	0.136
企業数	202,365	202,365	202,365

注：企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

表 7 中小企業を含めた製造業の雇用成長率の決定要因（工業統計調査、1994～2015年）

	[1]	[2]	[3]
企業年齢	-0.00205*** (0.000385)	-0.00203*** (0.000385)	-0.00203*** (0.000385)
企業年齢の対数	0.0000945*** (0.0000176)	0.0000945*** (0.0000175)	0.0000945*** (0.0000175)
Ln.労働生産性（1年ラグ）	0.0305*** (0.000465)	0.0308*** (0.000466)	0.0308*** (0.000466)
Ln.従業者数	-0.0185*** (0.000382)	-0.0175*** (0.000363)	-0.0174*** (0.000363)
Ln.有形固定資産	0.00559*** (0.000237)	0.00570*** (0.000237)	0.00570*** (0.000237)
特許出願ダミー（2年ラグ）	0.0152*** (0.00111)		
AI 関連特許出願ダミー（2年ラグ）	0.0140 (0.0162)		
IoT 関連特許出願ダミー（2年ラグ）	-0.0418 (0.0630)		
特許出願数（2年ラグ）		0.0000153* (0.00000874)	
AI 関連特許出願数（2年ラグ）		-0.00211 (0.00146)	
IoT 関連特許出願数（2年ラグ）		-0.0405 (0.0389)	
AI 関連特許被引用回数（2年ラグ）			-0.000229 (0.000902)
IoT 関連特許被引用回数（2年ラグ）			-0.0134 (0.0249)
定数項	-0.176*** (0.00322)	-0.181*** (0.00320)	-0.182*** (0.00320)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	1,139,580	1,139,580	1,139,580
決定係数	0.041	0.041	0.041
自由度修正済み決定係数	0.033	0.033	0.033
企業数	202,865	202,865	202,865

注：企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

表 8 は AI・IoT 関連特許の効果の異質性を検証するために、「工業統計調査」を用いた分析において労働生産性及び従業者数と特許出願との交差項を説明変数に加えた分析結果を示す。労働生産性と AI 関連特許出願ダミーの交差項の係数は、労働生産性の水準及び成長率に対して、正の値を示しており、統計的にも有意である。これは、労働生産性の高い企業では AI 関連特許の出願が労働生産性を押し上げる要因になるが、労働生産性の低い企業では AI 関連特許の出願が労働生産性を押し上げる要因にならない傾向を示している。

一方で、雇用成長率については AI 関連特許の係数が正で統計的に有意であり、従業者数と AI 関連特許の交差項の係数が負で統計的に有意となっている。これは、規模の小さい企業では AI 関連特許を出願すると雇用成長率が高くなる傾向を示している。

表 8 中小企業を含めた製造業における効果の異質性（工業統計調査、1994～2015 年）

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
	労働生産性の対数		労働生産性上昇率		雇用成長率	
企業年齢			-0.00270***	-0.00270***	-0.00205***	-0.00204***
			(0.000687)	(0.000687)	(0.000385)	(0.000385)
企業年齢の対数			0.0000730**	0.0000733**	0.0000945***	0.0000952***
			(0.0000310)	(0.0000310)	(0.0000176)	(0.0000176)
Ln.労働生産性（1 年ラグ）	0.292***		-0.262***	-0.264***	0.0309***	0.0304***
	(0.00262)		(0.00168)	(0.00166)	(0.000470)	(0.000465)
Ln.従業者数（1 年ラグ）	-0.128***	-0.00546**	0.0417***	0.0428***	-0.0185***	-0.0169***
	(0.00285)	(0.00256)	(0.000557)	(0.000580)	(0.000382)	(0.000386)
Ln.有形固定資産	0.0517***	0.0706***	0.0358***	0.0360***	0.00556***	0.00560***
	(0.00103)	(0.00122)	(0.000481)	(0.000481)	(0.000237)	(0.000237)
特許出願ダミー（2 年ラグ）	-0.128***	0.0433***	0.294***	0.0758***	0.0600***	0.0748***
	(0.0424)	(0.0128)	(0.0406)	(0.00705)	(0.0134)	(0.00589)
AI 関連特許出願ダミー（2 年ラグ）	-1.163***	-0.147	-0.776***	0.0526	-0.148	0.309**
	(0.306)	(0.126)	(0.207)	(0.0711)	(0.129)	(0.131)
IoT 関連特許出願ダミー（2 年ラグ）	1.438	0.00688	1.598*	-0.249	-0.832	-0.183
	(1.072)	(0.274)	(0.838)	(0.280)	(0.882)	(0.155)
Ln.労働生産性×特許出願ダミー（2 年ラグ）	0.0190***		-0.0388***		-0.00646***	
	(0.00615)		(0.00585)		(0.00193)	
Ln.労働生産性×AI 関連特許出願ダミー（2 年ラグ）	0.158***		0.107***		0.0221	
	(0.0417)		(0.0277)		(0.0177)	
Ln.労働生産性×IoT 関連特許出願ダミー（2 年ラグ）	-0.207		-0.232**		0.105	
	(0.145)		(0.111)		(0.112)	
Ln.従業者数×特許出願ダミー（2 年ラグ）		-0.0106***		-0.0110***		-0.0127***
		(0.00294)		(0.00145)		(0.00121)
Ln.従業者数×AI 関連特許出願ダミー（2 年ラグ）		0.0174		-0.00355		-0.0342**
		(0.0170)		(0.00907)		(0.0163)
Ln.従業者数×IoT 関連特許出願ダミー（2 年ラグ）		-0.00977		0.0165		0.0235
		(0.0290)		(0.0317)		(0.0220)
定数項	4.849***	6.209***	1.388***	1.398***	-0.179***	-0.182***
	(0.0219)	(0.0115)	(0.00985)	(0.00968)	(0.00325)	(0.00323)
サンプルサイズ	1116473	1121737	1133888	1133888	1139580	1139580
決定係数	0.788	0.762	0.143	0.143	0.0414	0.0417
自由度修正済み決定係数	0.749	0.719	0.136	0.136	0.0333	0.0336
企業数	161991	162394	202365	202365	202865	202865

注：企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

3.3 事業所・企業統計調査及び経済センサスを用いた中小企業を含めた全産業の分析結果

最後に、非製造業の中小企業も含めたサンプルでの傾向を確認するため、「事業所・企業統計調査」(1996・1999・2001・2006年調査)及び「経済センサス-基礎調査」(2009・2014年調査)、「経済センサス-活動調査」(2012・2016年調査)を用いた雇用成長率に関する分析結果を表9に示す。

表9 中小企業を含めた全産業の雇用成長率の決定要因 (1996~2018年)

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
Ln.従業者数 (1期ラグ)	-0.219*** (0.000202)	-0.212*** (0.000203)	-0.212*** (0.000203)	-0.228*** (0.000250)	-0.228*** (0.000251)	-0.228*** (0.000251)
特許出願ダミー (1期ラグ)	0.269*** (0.00153)					
特許出願ダミーの階差 (1期ラグ)				0.239*** (0.00549)		
AI関連特許出願ダミー (1期ラグ)	0.478*** (0.0196)					
AI関連特許出願ダミーの階差 (1期ラグ)				0.677*** (0.0761)		
IoT関連特許出願ダミー (1期ラグ)	0.164 (0.119)					
IoT関連特許出願ダミーの階差 (1期ラグ)				0.688*** (0.150)		
特許出願数 (1期ラグ)		0.0000165*** (0.00000513)	0.0000137*** (0.00000409)			
特許出願数の階差 (1期ラグ)					0.000252*** (0.0000522)	0.000261*** (0.0000569)
AI関連特許出願数 (1期ラグ)		-0.00173* (0.000973)				
AI関連特許出願数の階差 (1期ラグ)					-0.0157** (0.00746)	
IoT関連特許出願数 (1期ラグ)		0.0455 (0.0315)				
IoT関連特許出願数の階差 (1期ラグ)					0.101 (0.0700)	
AI関連特許被引用回数 (1期ラグ)			-0.000806 (0.000568)			
AI関連特許被引用回数の階差 (1期ラグ)						-0.0117** (0.00495)
IoT関連特許被引用回数 (1期ラグ)			0.0101 (0.0214)			
IoT関連特許被引用回数の階差 (1期ラグ)						0.0156 (0.0507)
定数項	0.178*** (0.000179)	0.176*** (0.000182)	0.176*** (0.000182)	0.191*** (0.000219)	0.191*** (0.000219)	0.191*** (0.000219)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	29,845,005	29,845,005	29,845,005	21,368,535	21,368,535	21,368,535
決定係数	0.138	0.135	0.135	0.150	0.150	0.150
自由度修正済み決定係数	0.138	0.135	0.135	0.150	0.150	0.150
企業数	8,356,125	8,356,125	8,356,125	6,552,043	6,552,043	6,552,043

注：企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

表 9 によると AI 関連特許出願ダミーの係数は正で統計的に有意であり、AI 関連特許を出願している企業は雇用成長率が高い傾向にある。ただし、AI 関連特許の出願件数及び被引用回数については有意な正の効果は見られない。また、階差を取ると AI 関連特許に加えて、IoT 関連特許出願ダミーの係数も統計的に有意に正となる。この結果は、AI 関連特許や IoT 関連特許を出願していなかった企業が出願するようになると、その後雇用成長率が上昇する傾向を示している。

表 10 は産業別の雇用成長率に関する分析結果を示している。従業者数と AI 関連特許出願ダミーの交差項の係数は製造業でのみ統計的に有意に負である。これは製造業では AI 関連特許出願は中小企業においてのみ雇用成長に寄与する傾向があることを示している。一方、IoT 関連特許出願ダミーの係数は情報サービスを除く非製造業でのみ統計的に有意で正となっているが、従業者数との交差項の係数は有意ではない。この結果は、情報サービス業では企業規模に関わらず IoT 関連特許が雇用成長に寄与している傾向を示している。

表 10 中小企業を含めた産業別の雇用成長率の決定要因 (1996~2018 年)

	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]
	製造業		情報サービス除く非製造業		情報サービス業	
Ln.従業者数 (1 期ラグ)	-0.150*** (0.000511)	-0.149*** (0.000510)	-0.249*** (0.000290)	-0.249*** (0.000290)	-0.0927*** (0.00239)	-0.0911*** (0.00238)
特許出願ダミーの階差 (1 期ラグ)	0.263*** (0.00819)	0.533*** (0.0227)	0.176*** (0.00751)	0.188*** (0.0131)	0.190*** (0.0329)	0.444*** (0.0897)
AI 関連特許出願ダミーの階差 (1 期ラグ)	0.633*** (0.126)	2.317*** (0.434)	0.592*** (0.116)	0.434** (0.195)	0.215 (0.157)	0.798 (0.588)
IoT 関連特許出願ダミーの階差 (1 期ラグ)	0.0727 (0.276)	1.131 (0.852)	1.056*** (0.171)	0.658 (0.482)	-0.0472 (0.417)	0.648 (0.613)
Ln.従業者数×特許出願ダミーの階差 (1 期ラグ)		-0.103*** (0.00719)		-0.00500 (0.00579)		-0.0832*** (0.0238)
Ln.従業者数×AI 関連特許出願ダミーの階差 (1 期ラグ)		-0.302*** (0.0740)		0.0353 (0.0381)		-0.124 (0.112)
Ln.従業者数×IoT 関連特許出願ダミーの階差 (1 期ラグ)		-0.147 (0.116)		0.0756 (0.0643)		-0.126 (0.145)
定数項	0.191*** (0.000695)	0.190*** (0.000694)	0.194*** (0.000234)	0.194*** (0.000234)	0.173*** (0.00479)	0.169*** (0.00476)
産業×年ダミー	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
サンプルサイズ	2,466,926	2,466,926	18,832,559	18,832,559	69,050	69,050
決定係数	0.107	0.107	0.162	0.162	0.075	0.075
自由度修正済み決定係数	0.106	0.107	0.162	0.162	0.074	0.075
企業数	886,145	886,145	5,946,697	5,946,697	34,167	34,167

注：企業単位でクラスタリングした標準誤差を括弧内に示している。* p < 0.1, ** p < 0.05, *** p < 0.01。

4. 結論

本研究では、AI や IoT などの第四次産業革命に関連した技術の発展と市場ダイナミクスとの関係性について日本のデータを用いて分析を行う。特許データの出願人を経済産業省「企業活動基本調査」「工業統計調査」、総務省「事業所・企業統計調査」「経済センサス - 基礎調査」及び「経済センサス - 活動調査」に接続した企業レベルのパネルデータを構築し、AI や IoT などの第四次産業革命に関連した研究開発への取り組みが事業所・企業の生産性上昇と雇用成長にどのように関わっているかを検証した。

本研究の主な分析結果を表 11 にまとめている。AI 関連特許出願については労働生産性に寄与するのは製造業の大企業に限定されている一方、非製造業の大企業や製造業と非製造業（情報サービスを除く）の中小企業の雇用成長を高める傾向が示唆されている。他方、IoT 関連の特許出願は製造業の中小企業の労働生産性の上昇と情報サービスを除く非製造業の大企業及び中小企業の雇用成長に寄与する傾向が見られた。また、AI 関連技術の発展は生産性の格差を拡大する効果を持つことを示唆する結果もみられた。

表 11 主な分析結果

企業規模別	AI 関連特許の効果				IoT 関連特許			
	労働生産性		雇用成長		労働生産性		雇用成長	
企業規模	大	中小	大	中小	大	中小	大	中小
製造業	+			+		+		
非製造業（情報サービス業除く）		/	+	+		/	+	+
情報サービス業		/				/		

労働生産性の水準別	AI 関連特許の効果				IoT 関連特許			
	労働生産性		雇用成長		労働生産性		雇用成長	
労働生産性	高	低	高	低	高	低	高	低
製造業	+					+		
非製造業（情報サービス業除く）		/	+	+		/	+	+
情報サービス業		/				/		

これらの分析の結果は AI・IoT といった第四次産業革命に関連した技術の発展は企業の生産性と雇用のダイナミクスと関連している可能性を示している。また、特に AI 関連技術の開発は中堅・大企業に恩恵をもたらし、中小企業への恩恵は限定的であることを示唆している。これらの結果は、第四次産業革命に関連した技術の発展することによって、中小企業の成長を支援する政策や格差の拡大を是正するための政策の重要性が高まる可能性を示している。

参考文献

- 特許庁 (2017) 「IoT 関連技術の特許分類情報の蓄積」
https://www.jpo.go.jp/system/patent/gaiyo/bunrui/fi/iot_bunrui_tikuseki.html
- 特許庁 (2020) 『AI 関連発明の出願状況調査 報告書』
https://www.jpo.go.jp/system/patent/gaiyo/sesaku/ai/ai_shutsugan_chosa.html
- 池内健太・伊藤恵子・深尾京司・権赫旭・金榮慤 (2019) 「日本における雇用と生産性のダイナミクス—OECD DynEmp/MultiProd プロジェクトへの貢献と国際比較—」RIETI ディスカッションペーパー、No. 19-J-066、経済産業研究所。
- Bassetti, T., Y. Borbon Galvez, M. Del Sorbo and F. Pavesi (2020) “Artificial Intelligence – impact on total factor productivity, e-commerce & fintech,” EUR 30428 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, ISBN 978-92-76-24693-0, doi:10.2760/333292 , JRC122268.
- Berlingieri, G., P. Blanchenay, and C. Criscuolo (2017a) “The Great Divergence(s).” OECD Science, Technology and Industry Policy Papers, No. 39. <https://doi.org/10.1787/953f3853-en>
- Berlingieri, G., P. Blanchenay, S. Calligaris, and C. Criscuolo (2017b) “The Multiprod project: A comprehensive overview.” OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2017/04, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/2069b6a3-en>
- Berlingieri, G., S. Calligaris, C. Criscuolo, and R. Verlhac (2020) “Last but not least: laggard firms, technology diffusion and its structural and policy determinants.” OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 86, OECD Publishing, Paris.
- Calvino, F., and C. Criscuolo (2019) “Business Dynamics and Digitalisation.” OECD Science, Technology and Industry Working Papers, No. 62, OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/6e0b011a-en>.
- Criscuolo, C., P. Gal, and C. Menon (2014) “DynEmp: A Stata® Routine for Distributed Micro-data Analysis of Business Dynamics.” OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2014/02, OECD Publishing, Paris. <http://dx.doi.org/10.1787/5jz40rscddd4-en>
- Damioli G., V. Van Roy and D. Vertesy (2021) “The impact of artificial intelligence on labor productivity,” Eurasian Business Review, <https://doi.org/10.1007/s40821-020-00172-8>