

# イノベーションと 温暖化対策長期戦略

杉山大志

一般財団法人 電力中央研究所 社会経済研究所 上席研究員

2016年10月6日

中央環境審議会 長期低炭素ビジョン小委員会(第4回)

※個人の文責に基づくものであり、いかなる関連機関に責が及ぶものではありません。

# このプレゼンテーションの問題意識

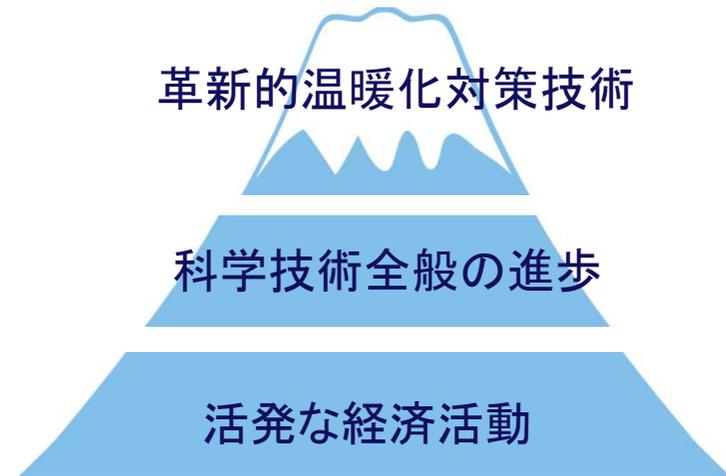
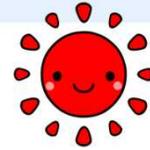
Q: 何故、世界の温室効果ガス削減はなかなか進まないのか？

A: 対策のコストが高いから。

- ◆コストを下げるには、イノベーションが鍵。
- ◆特に「革新的温暖化対策技術」はどうすれば得られるのか？

# 主なメッセージ(1)

1. 「革新的温暖化対策技術」が温暖化問題の解決には不可欠。
2. 革新的温暖化対策技術を得るためには、科学技術全般の進歩が必要。
3. 科学技術全般の進歩のためには、活発な経済活動が必要。

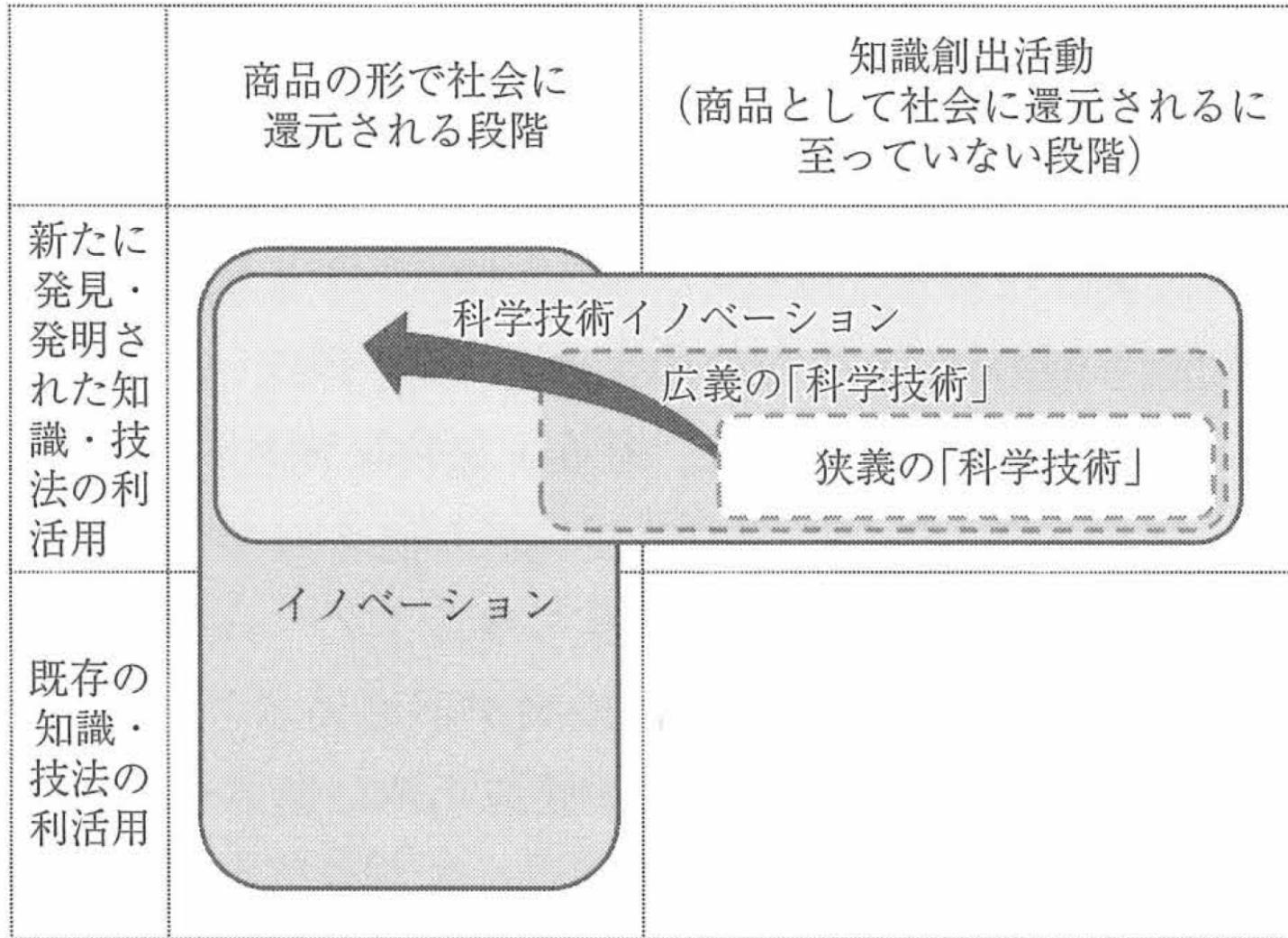


⇒「温暖化対策と経済成長の両立」は、単にトレードオフへの配慮ということを超えて、実は、温暖化問題の解決のために必須。

## 主なメッセージ(2)

- ◆  $\Delta 80\%$ を「生産ベース」で達成することよりも、「消費ベース」で大幅削減を実現すること、その為にはイノベーションによって世界規模で温暖化対策コストを下げる事が重要。
- ◆ 「電気の低炭素化」と「電化(=エネルギー需要に占める電気の割合の上昇)」の両者を共に実現するためには、電化イノベーションを阻害しない為に、電気の低炭素化は、性急で電力価格の高騰を招くのではなく、漸進的で電力価格を抑制する様、実施すべき。

# イノベーションの定義(≠発明)



大橋弘(2014) プロダクト・イノベーションの経済分析

# 日本政府のイノベーション計画／ビジョン

# 日本政府のイノベーション計画／ビジョン

1. エネルギー環境イノベーション戦略(内閣府)
2. 第五次科学技術基本計画(内閣府)
3. 新産業構造ビジョン(経産省)
4. 次世代人工知能技術社会実装ビジョン(NEDO)

...

◆ 日本政府は、エネルギー環境分野だけでなく、あらゆる方面でのイノベーションを促進している。

# エネルギー環境イノベーション戦略

## 革新的な温暖化対策技術の推進



[http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004000/pdf/045\\_05\\_00.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004000/pdf/045_05_00.pdf)

# 第5次科学技術基本計画

## 社会全体のスマート化

### (2) 世界に先駆けた「超スマート社会」の実現 (Society 5.0)

- 世界では、ものづくり分野を中心に、ネットワークやIoTを活用していく取組が打ち出されている。我が国ではその活用を、ものづくりだけでなく様々な分野に広げ、経済成長や健康長寿の形成、さらには社会変革につなげていく。また、科学技術の成果のあらゆる分野や領域への浸透を促し、ビジネス力の強化、サービスの質の向上につなげる
- サイバー空間とフィジカル空間（現実社会）が高度に融合した「超スマート社会」を未来の姿として共有し、その実現に向けた一連の取組を「Society 5.0」\*とし、更に深化させつつ強力に推進  
\* 狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続くような新たな社会を生み出す変革を科学技術イノベーションが先導していく、という意味を持つ
- サービスや事業の「システム化」、システムの高度化、複数のシステム間の連携協調が必要であり、産学官・関係府省連携の下、共通的なプラットフォーム（超スマート社会サービスプラットフォーム）構築に必要となる取組を推進

超スマート社会とは、  
 「必要なもの・サービスを、必要な人に、必要な時に、必要なだけ提供し、社会の様々なニーズにきめ細かに対応でき、あらゆる人が質の高いサービスを受けられ、年齢、性別、地域、言語といった様々な違いを乗り越え、生き活きと快適に暮らすことのできる社会」であり、  
 人々に豊かさをもたらすことが期待される



<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/kihon5/15kai/sanko2.pdf>

# 新産業構造ビジョン(経産省)

## 共通基盤技術による新産業創生

### 技術(共通基盤技術×産業コア技術)×関連データ

技術	共通基盤技術	産業コア技術	関連データ	様々な財・サービス	
共通基盤技術 (人工知能、IoT、ロボット)	×	金融技術	×	購買・商流データ、 金融市場データ	⇒ 取引・決済データによる与信、 ロボアドバイザー(資産運用)等
	×	医薬品開発技術	×	健康医療データ	⇒ 個別化医薬品、 個別化健康・美容サービス等
	×	バイオインフォマティクス ゲノム編集	×	生物データ	⇒ 新規創薬、新種作物、先端材料製造、 バイオエネルギー等
	×	エネルギー負荷機器 制御技術	×	顧客データ	⇒ エネルギーデマンドレスポンス、 見守りサービス等
	×	生産管理技術	×	事故・ヒヤリハットデータ	⇒ 異常・予兆の早期検知等による安全性・ 生産性向上、保険・格付けの高度化等

[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin\\_sangyoukouzou/pdf/008\\_05\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin_sangyoukouzou/pdf/008_05_01.pdf)

# 次世代人工知能技術社会実装ビジョン(NEDO)

## 急速な人工知能進歩のビジョン

### 人工知能及びその関連技術の進展 (全体版)



TSC Frontier & Fusion Area Unit

分類	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
認識能力関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>静止画像・動画からの一般物体認識が人間レベルに到達</li> <li>3次元情報からの環境認識が人間レベルに到達</li> <li>人間の表情、感情の認識が人間レベルに到達</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインにおいて、文脈や背景知識を考慮した認識が可能に</li> <li>スモールデータでの学習による認識が可能に</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>特定ドメインに限らず、一般ドメインにおいて、文化や社会的背景などを考慮した認識が可能に (シンボルグラウンディング問題の解決)</li> </ul>
運動能力関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>ディープラーニング (DL) と強化学習の融合が進化し、人間が設定した報酬体系の下、高度なゲームなどのタスクの遂行 (プランニング) が人間レベルに到達</li> <li>運動に関するアミティブ、構造 (オントロジー) を自動生成する技術の確立</li> <li>DL+強化学習の進化により、剛体物マニピュレーション制御のほか、柔軟物マニピュレーション制御を学習</li> <li>自律移動しながら3Dマップを生成し、周辺環境を構造化</li> <li>不整地等非構造化環境におけるロコモーション技術が確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>スモールデータでの学習により、深い背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達</li> <li>人間の運動・モノの操作・動画像から概念階層を自動で獲得 (運動からの自動的なオントロジー獲得技術の確立)</li> <li>安全マニピュレーション技術の確立</li> <li>ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対するマニピュレーション技術が確立</li> <li>安全ロコモーション技術の確立</li> <li>ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対するロコモーション技術が確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>文化や社会的背景を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達</li> <li>マニピュレーション機能がモジュール化され、社会全体で最適配置される</li> <li>移動が社会の中に組み込まれ、社会全体に移動ソリューションが提供される</li> </ul>
言語・意味理解	<ul style="list-style-type: none"> <li>画像とテキストを相互変換する原始的シンボルグラウンディング技術の確立</li> <li>特定ドメインにおいて、会話が成立するための発話計画を自動で生成</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>マルチモーダルな情報、運動に関するアミティブとテキストを相互変換する、より本格的なシンボルグラウンディング技術の確立</li> <li>原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、新聞等のフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達</li> <li>原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインの機械翻訳が人間レベルに到達</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人間の言語知識と、画像や運動を介したグラウンディングが融合し、大規模な知識獲得が可能に</li> <li>フォーマルなテキストに限らず、インフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達</li> <li>機械翻訳が人間レベルに到達</li> <li>機械が仮説や要約を生成</li> <li>音声対話が人間レベルに到達</li> </ul>
数値データの処理、人間やシステムのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> <li>センサからの大量データの取得・活用が進む (IoT)</li> <li>認知発達モデル、脳の情報処理の研究が加速</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>センサデータにより、社会の部分的最適化が可能に</li> <li>認知発達モデルが部分的に構築</li> <li>脳の情報処理原理が部分的に解明</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>認識能力、運動能力、言語・意味理解能力の向上とあわせて、社会全体の最適化が可能に</li> <li>認知発達モデルが概ね構築</li> <li>脳の情報処理原理が概ね解明</li> </ul>
計算機システム等の必要なハードウェア	<ul style="list-style-type: none"> <li>ワンショット3D計測やハイバースペクトルカメラなどのセンサ</li> <li>省電力高性能小型プロセッサ</li> <li>触覚センサなどセンサ類の高度化</li> <li>高度マニピュレータ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>イジングモデル型デバイス</li> <li>スマートアクチュエータ</li> <li>あらゆるデバイスが超低消費電力駆動</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>人の脳にせまる脳型デバイス</li> </ul>

# イノベーションの例： 人工知能

# 人工知能

## Googleの人工知能が囲碁でプロ棋士を破る(2016年1月)

NHK NEWSWEB

トップページ > 科学・医療ニュース一覧 > グーグルが最新人工知能使い囲碁ソフト開発 プロに勝利

### ニュース詳細

#### グーグルが最新人工知能使い囲碁ソフト開発 プロに勝利

1月28日 3時00分



アメリカのIT企業、グーグルの研究グループが最新の人工知能を使った囲碁のコンピューターソフトを開発し、人間のプロ棋士に勝利したと発表しました。囲碁でコンピューターが人間のプロに勝つのは初めてです。

これはアメリカのIT企業、グーグルの研究グループが28日発行のイギリスの科学雑誌「ネイチャー」に論文を発表したものです。囲碁は、将棋やチェスと比べて打てる手の数が桁違いに多いことから計算が複雑で、コンピューターが人間のプロの実力に追いつくにはこの先、10年以上かかるとされてきました。

論文によりますとグループが開発した囲碁ソフト「AlphaGo」には膨大な可能性を計算して打ち手を探す従来の方法に加え、「ディープラーニング」と呼ばれるコンピューターがみずから学習する最新の技術が使われているということです。

そのうえで、碁石の位置データに基づいた戦況の見極めと、次に打つ手の選択を2種類の別々の人工知能を組み合わせることで、より強い手を見つけ出す能力が格段に高まったということです。

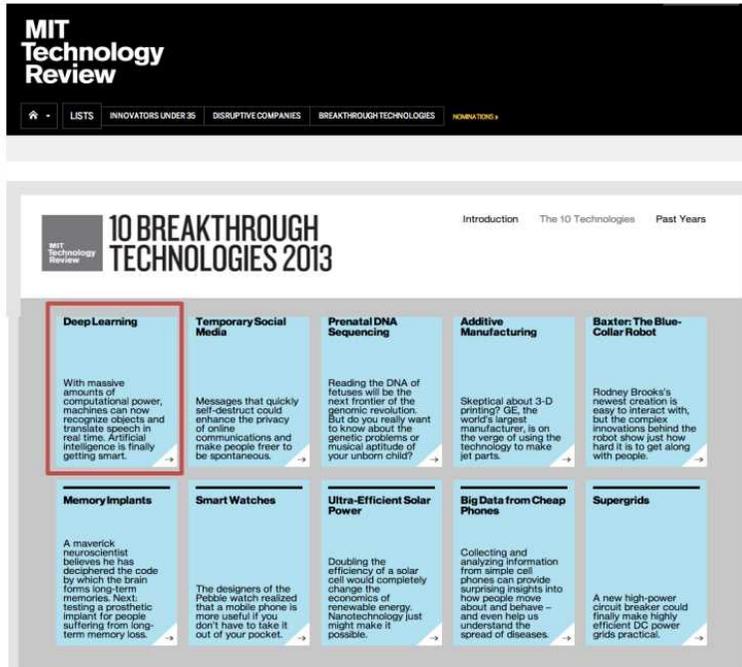
グループによりますと、中国出身のプロ棋士と対局し、「AlphaGo」は5戦全勝したということで、囲碁でコンピューターが人間のプロ棋士に勝つのは初めてだということです。

グループではことし3月には世界のトッププロ棋士の1人で韓国のイ・セドル九段と対局することになっています。

今回の成果についてグループでは「人工知能の開発に囲碁は最適なゲームだ。今後、この人工知能の技術を気象災害の予測から医療まで実社会のさまざまな場面に役立つものにしていきたい」としています。

# ディープラーニング

- AIにおける50年来のブレークスルー
  - 特徴量を自動的に生成する技術。人間の脳を模した「ニューラルネットワーク」の一種
  - コンピュータが、「認識」と「運動の習熟」をすることができるようになった



MITで10個の革新的技術の筆頭に挙げられる(2013年)

## 人工の神経回路、威力増す

「ディープラーニング」と呼ぶ人工知能技術が高い関心を集めている。画像や音声の認識精度が大幅に高まるため、米グーグルなどが研究に参入。経済動向の予測や新薬開発などにも威力を発揮する可能性がある。

ここ1〜2年、世界中の人工知能の研究から大きな注目を浴びている技術がある。コンピューターに人間と同じように経験に基づいた行動をさせる機械学習の一種で、「ディープラーニング」と呼ばれる新手法だ。インターネット社会を支える画像認識や音声認識、新薬開発に役立つ化合物の活性予測——。こうした技術の精度を競うコンテストで、ディープラーニングが過去の記録を大幅に塗り替え、次々と優勝を果たしている。「これほど飛躍的に精度が向上するとは信じられない」「まさに衝撃的な結果だ」。専門家からは、口々に驚きの声が上がっている。ディープラーニングは、人の神経回路をコンピューター上で模倣する「ニューラルネットワーク」という技術を発展させたものだ。人の脳は、画像からそこに映るモノ

### ディープラーニングで画像を認識する流れ

ディープラーニングでは、コンピューター上に人間の脳と同じような多層の神経回路を作製。大量の画像や文字情報を入力してトレーニング(訓練)すると、そこに含まれる高度な概念が自然に引き出される。米グーグルの研究では、出力層のニューロンが、「猫」を認識して強く反応するようになった(右は簡略化した仕組みの図)

コンピュータ上で神経回路をシミュレーションする

入力層 隠れ層 出力層

各画素の色を認識 訓練中のエッジを認識 目や耳、鼻を認識 顔の全体像を認識 顔の輪郭を認識

信号の流れ

ニューロン

画像を入力するたびに、各ニューロンのつながり方が少しずつ変わる

層にある層ほど高レベルの概念を認識するようになる

猫に反応するニューロンができる

日本の一般誌で初めて紹介される。(日経ビジネス2013年4月15日号)

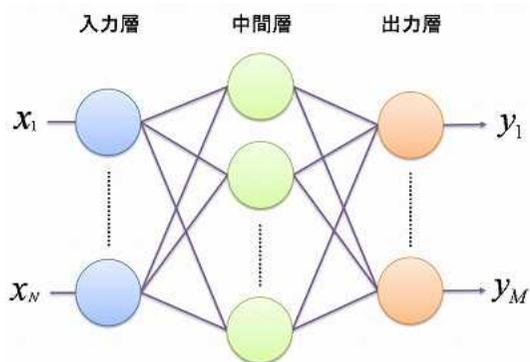
松尾豊、「人工知能は人間を超えるか」;

松尾豊、「AIの技術革新の進展による社会への影響について」、働き方の未来2035:一人ひとりが輝くために 懇談会 2016年2月24日

[http://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12601000-Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu\\_Shakaihoshoutantou/0000113714.pdf](http://www.mhlw.go.jp/file/05-Shingikai-12601000-Seisakutoukatsukan-Sanjikanshitsu_Shakaihoshoutantou/0000113714.pdf)

# ディープラーニングは3つの既存の技術の 組合わせで実現した

ケヴィン・ケリー「インターネットの次に来るもの」



1. パーセプトロン  
昔の人工知能技術



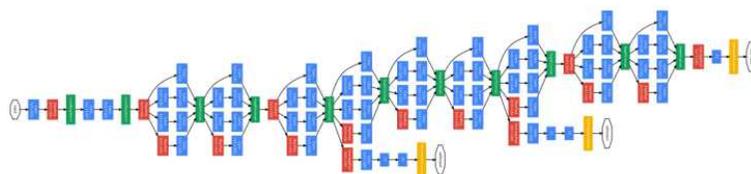
2. ウェブ上のビッグデータ  
..学習に使用



3. 画像処理ユニット(GPU)  
ゲーム機の技術..並列計算



Figure 3: Generalized neural network with all the bells and whistles



F. Schroff et. al: FaceNet: A Unified Embedding for Face Recognition and Clustering, 2015

## ディープラーニング

# 人工知能を活用した温暖化対策

## 技術（共通基盤技術×産業コア技術）×関連データ

技術	関連データ	様々な財・サービス
× 金融技術	× 購買・商流データ、 金融市場データ	= 取引・決済データによる与信、 ロボアドバイザー（資産運用）等
× 医薬品開発技術	× 健康医療データ	= 個別化医薬品、 個別化健康・美容サービス 等
× 共通基盤技術 （人工知能、 IoT、ロボット）	× バイオインフォマティクス × ゲノム編集	= 新規創薬、新種作物、先端材料製造、 バイオエネルギー 等
× エネルギー負荷機器 制御技術	× 顧客データ	= エネルギーデマンドレスポンス、 見守りサービス 等
× 生産管理技術	× 事故・ヒヤリットデータ	= 異常・予兆の早期検知等による安全性・ 生産性向上、保険・格付けの高度化 等

新産業構造ビジョン

[http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin\\_sangyoukouzou/pdf/008\\_05\\_01.pdf](http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/shin_sangyoukouzou/pdf/008_05_01.pdf)

「革新的な温暖化対策技術」が、温暖化対策を直接の目的としない人工知能等の技術進歩によって実現していく。

イノベーションを起こすには？

# イノベーションの性質

## 複雑系研究の視点

- ◆ **新しい技術は既存の技術の組合わせで生まれる** (ブライアン・アーサー「テクノロジーとイノベーション」)。
- ◆ **“アイデアの交配”** (マット・リドレー「繁栄」)

∴ 技術進歩は ①蓄積性があり、②加速する。

- ◆ **隣接可能性** (スティーブン・ジョンソン「イノベーションのアイデアを生み出す七つの法則」)

## 隣接可能性 (adjacent possibility)

技術革新の蓄積が新たな技術革新を可能にする。

- ◆ イノベーションが起こるには、それを可能にするだけの技術の蓄積がなければならない。
- ◆ 例： ディープラーニングの場合は3つの技術が必要だった。
- ◆ 他の例：ブロードバンド環境が無ければ、ウェブ動画サービス (Youtube) は生まれなかった。

スティーブン・ジョンソン、「イノベーションのアイデアを生み出す七つの法則」

## 発明の同時性 (Simultaneous Inventions)

隣接可能性が満たされると、発明は“不可避免的に”起きる。

発明・発見は、ほぼ同時に、複数が独立に起きた。

1. ニュートンとライプニッツは、いずれも微積分を発見した。
2. 3人の数学者が小数を「発明」した。
3. 酸素はプリーストリーが1774年に発見したが、その前年に、シェーレも発見している。
4. カラー写真は、フランスでシャルル・クロとルイ・デュコ・デュ・オーロンによって同時に発明された。
5. 対数は英国のネイピアとブリッグス、それにスイスのビュルギの3人が考案した。
6. 温度計については、少なくとも6人の異なる発明者がいる。
7. タイプライターは、英国と米国でそれぞれ数人の個人が同時に発明した。
8. 蒸気船はフルトン、ジュフロワ、ラムゼー、スティーヴンス、サイミントンの、それぞれ「独自の」発明だと言われている。

ケビン・ケリー「テクニウム」 ;  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple\\_discovery](https://en.wikipedia.org/wiki/Multiple_discovery)

「革新的温暖化対策技術」を得るためには  
技術全般の進歩が重要。

- ◆ 技術全般が進歩することで、隣接可能性が満たされて、「革新的温暖化対策技術」も生まれる。
- ◆ 「革新的温暖化対策技術」“だけ”が真空から生まれることは無い。

例 AIが進歩 ⇒ 「AIによる省エネ」が可能に

# 自由経済の力

## 技術全般の進歩をもたらすもの



### ◆「私は鉛筆」(レナード・リード、1958年)

ごく普通の鉛筆が自らの生い立ちを語る。その鉛筆は、オレゴン州の木こりやスリランカの黒鉛鋼夫等、何百万もの人の協働で誕生した。鉛筆は言う:「鉛筆会社の社長も含めて、これら何百万者人の誰一人として、ほんのわずかのノウハウ以上のものを提供することはない」。

### ◆「知識は集中したり統合されたりしたかたちでは決して存在せず、多数の個人がばらばらに持つ不完全でしばしば相矛盾する知識という、分散した断片としてのみ存在する」(ハイエク)

### ◆自由経済には知識を組合せて優れた製品&イノベーションをもたらす力がある。

フリードマン「選択の自由」; ハイエク「隷属への道」

# 政府の役割

- ◆ 政府の役割は、①活発な経済活動を促すこと、②基礎研究・理科教育への投資、③いわゆる「革新的温暖化対策技術の開発」、等。
- ◆ ③だけではない。むしろ、③は①②に対して補完的な位置づけである。①②によって新事業・新製品が次々に生まれ、技術全般が進歩することで、「革新的温暖化対策技術」の隣接可能性が満たされることが重要。

# イノベーションを重視した長期戦略

## 温暖化問題の解決に結びつくのはどちらか？

2000年以降に起きたこと:

米国: イノベーション

◆シェールガス革命

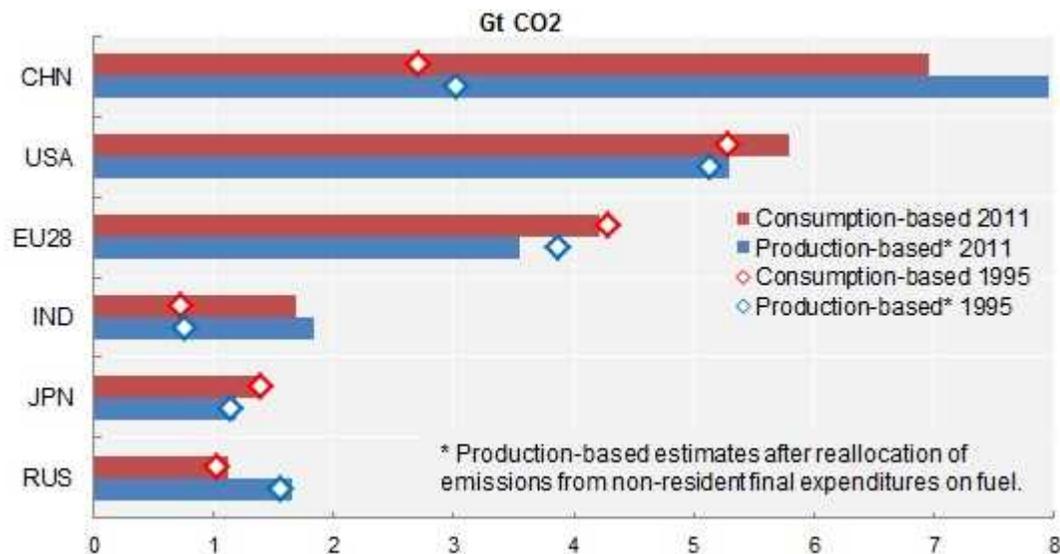
◆シリコンバレーでデジタル革命 (ICT、AI、IOT、...)

他の多くの先進国

◆生産ベースでCO2↓だが消費ベースでは減らず

# 生産ベースCO2と消費ベースCO2

- ◆ 通常言われる一国の排出量は、生産ベース排出量(その国の煙突から出ているCO2の合計)。「消費ベース排出量」とは、その国の消費を満たすために、世界中の煙突から出ているCO2の合計。
- ◆ 幾つかの先進国はCO2を減らしたとしているが、これは生産ベースであり、消費ベースでは横ばい～増加が多かった(図 OECD2013)。
- ◆ 英独仏米日は生産ベースで△80%程度を目指している。だが消費ベースで減らさなければ意味が乏しい。これには世界全体で排出を減らさなければならない。
- ◆ 世界全体での排出削減にはイノベーションによるコスト低減が必要。
- ◆ 生産ベースのCO2削減よりも、イノベーションが温暖化問題解決の鍵。



(OECD2013) [http://www.oecd.org/media/oecdorg/directorates/directorateforsciencetechnologyandindustry/eas/co2\\_top6.jpg](http://www.oecd.org/media/oecdorg/directorates/directorateforsciencetechnologyandindustry/eas/co2_top6.jpg)

# イノベーションを重視した長期戦略

◆ 全般的なイノベーション推進にコミット。ビジョンとして

1. エネルギー環境イノベーション戦略(内閣府)
2. 第五次科学技術基本計画(内閣府)
3. 新産業構造ビジョン(経産省)
4. 人工知能実装ビジョン(NEDO)

等を総合化してまとめる。

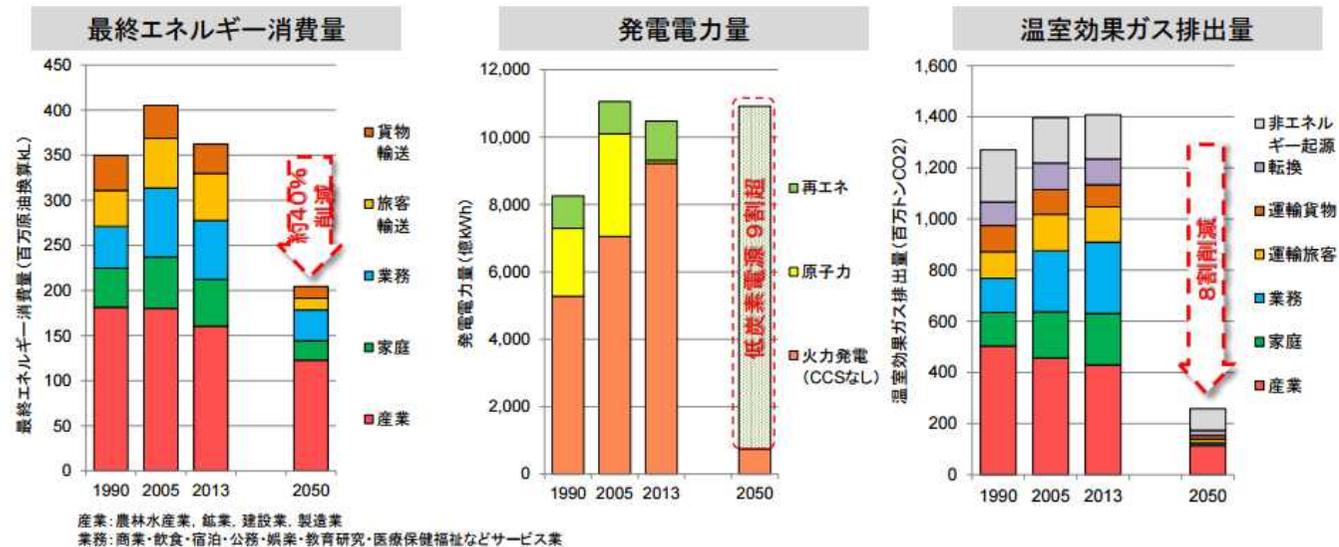
◆ 「2050年△80%」についてブレークダウンした排出削減目標は設定せず、上記に関する研究開発目標、理科教育目標を設定する。

# 「電気の低炭素化」と「電化」の戦略について

# 「電気の低炭素化」と「電化」(第1回資料より)

## (参考資料) 2050年80%削減に向けた試算の一例

- 2050年に向けて、エネルギー消費量の削減、使用するエネルギーの低炭素化、利用エネルギーの転換等による温室効果ガス80%削減の可能性について検討を行った。
- その結果、試算の一例として、以下のような技術的可能性を見出すことができた。
- こうした低炭素型社会への大転換・変革を進めるため、**技術やライフスタイル、経済社会システムのイノベーション**を引き起こしていくことが必要である。

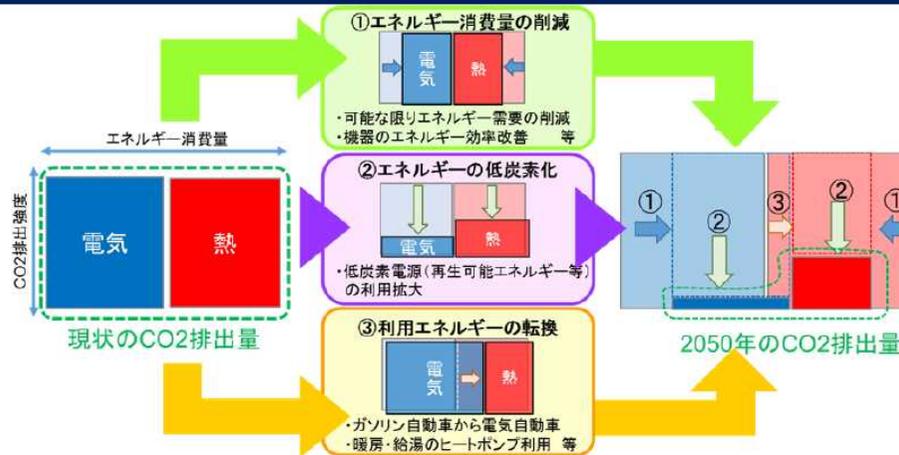


4

長期低炭素ビジョン小委員会(第1回)資料5-2 気候変動長期戦略懇談会提言 [http://www.env.go.jp/council/06earth/y0618-01/mat05\\_2.pdf](http://www.env.go.jp/council/06earth/y0618-01/mat05_2.pdf)  
温室効果ガス削減中長期ビジョン検討会とりまとめ 2015年12月17日 <http://www.env.go.jp/policy/kikouhendou/kondankai04/02siryou1-1.pdf>

# 「電気の低炭素化」と「電化」(第1回資料より)

## 2050年80%削減の方向性



- 我々は、電力と熱の二通りの形でエネルギーを利用。電力も熱も、化石燃料を用いて作ると、CO2が発生。  
 (例) 電力：火力、原子力、太陽光等により発電し、様々な電気機器を利用  
 熱：重油を燃やして工場で高温利用、ガソリンで自動車を走行、ガスで暖房、太陽熱で温水利用
- 2050年80%、その先の大幅削減を実現するためには、次の3つの取組を並行して進める必要がある
- ①可能な限りのエネルギー需要を削減する(省エネを進める)  
 (例) 高効率(省エネタイプ)の電気機器・熱利用機器を利用、都市構造の変革等
  - ②エネルギーの低炭素化を進める  
 (例) 電力:再生エネ、原子力、CCS付火力等の低炭素電源を9割以上(CO2排出をほぼゼロ)  
 熱:バイオマス、地中熱、太陽熱など可能な限り再生エネ熱を利用(CO2排出を削減)
  - ③電化を促進する  
 低炭素電源の拡大や効率的なエネルギーの利用によりCO2をより大きく削減することが可能であるため、熱から電力への転換を促進  
 (例) ガソリン自動車から電気自動車、暖房・給湯のヒートポンプ利用

長期低炭素ビジョン小委員会(第1回)資料5-1 気候変動長期戦略懇談会 提言概要 [http://www.env.go.jp/council/06earth/y0618-01/mat05\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/council/06earth/y0618-01/mat05_1.pdf)  
 気候変動長期戦略懇談会 提言 平成28年2月26日 <http://www.env.go.jp/press/teigen.pdf>

# 発電コストの現状

## 2014年モデルプラント試算結果概要、並びに感度分析の概要

電源	原子力	石炭火力	LNG火力	風力(陸上)	地熱	一般水力	小水力(80万円/kW)	小水力(100万円/kW)	バイオマス(専焼)	バイオマス(混焼)	石油火力	太陽光(メガ)	太陽光(住宅)	ガスコジェネ	石油コジェネ
設備利用率	70%	70%	70%	20%	83%	45%	60%	60%	87%	70%	30・10%	14%	12%	70%	40%
稼働年数	40年	40年	40年	20年	40年	40年	40年	40年	40年	40年	40年	20年	20年	30年	30年
発電コスト(円/kWh)	10.1~(8.8~)	12.3(12.2)	13.7(13.7)	21.6(15.6)	16.9※(10.9)	11.0(10.8)	23.3(20.4)	27.1(23.6)	29.7(28.1)	12.6(12.2)	30.6~43.4(30.6~43.3)	24.2(21.0)	29.4(27.3)	13.8(13.8~15.0)	24.0(24.0~27.8)
2011コスト等検証委	8.9~(7.8~)	9.5(9.5)	10.7(10.7)	9.9~17.3	9.2~11.6	10.6(10.5)	19.1~22.0	19.1~22.0	17.4~32.2	9.5~9.8	22.1~36.1(22.1~36.1)	30.1~45.8	33.4~38.3	10.6(10.6)	17.1(17.1)

原子力の感度分析(円/kWh)	
追加的安全対策費2倍	+0.6
廃止措置費用2倍	+0.1
事故廃炉・賠償費用等1兆円増	+0.04
再処理費用及びMOX燃料加工費用2倍	+0.6

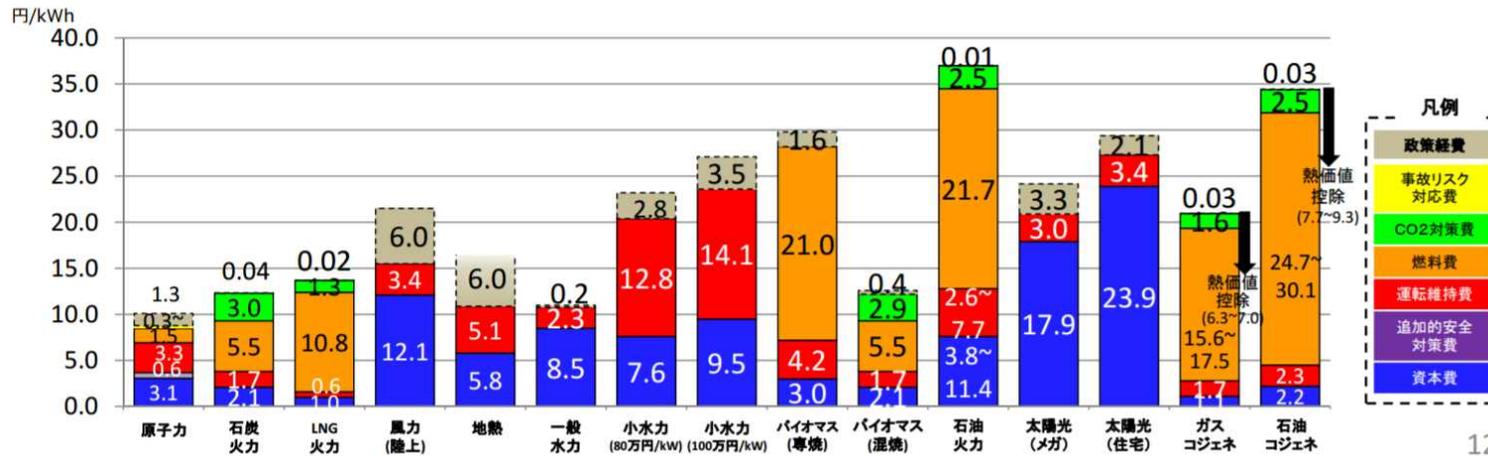
※1 燃料価格は足元では昨年と比較して下落。それを踏まえ、感度分析を下記に示す。

化石燃料価格の感度分析(円/kWh)			
燃料価格10%の変化に伴う影響(円/kWh)	石炭 約±0.4	LNG 約±0.9	石油 約±1.5

※2 2011年の設備利用率は、石炭:80%、LNG:80%、石油:50%、10%

※3 ()内の数値は政策経費を除いた発電コスト

※4 地熱については、その予算関連政策経費は今後の開発拡大のための予算が大部分であり、他の電源との比較が難しいが、ここでは、現在計画中のものを加えた合計143万kWで算出した発電量で関連予算を機械的に除した値を記載。



総合資源エネルギー調査会 長期エネルギー需給見通し小委員会 発電コスト検証ワーキンググループ 長期エネルギー需給見通し小委員会に対する発電コスト等の検証に関する報告 平成27年5月26日 [http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic\\_policy\\_subcommittee/mitoshi/cost\\_wg/pdf/cost\\_wg\\_01.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/committee/council/basic_policy_subcommittee/mitoshi/cost_wg/pdf/cost_wg_01.pdf)

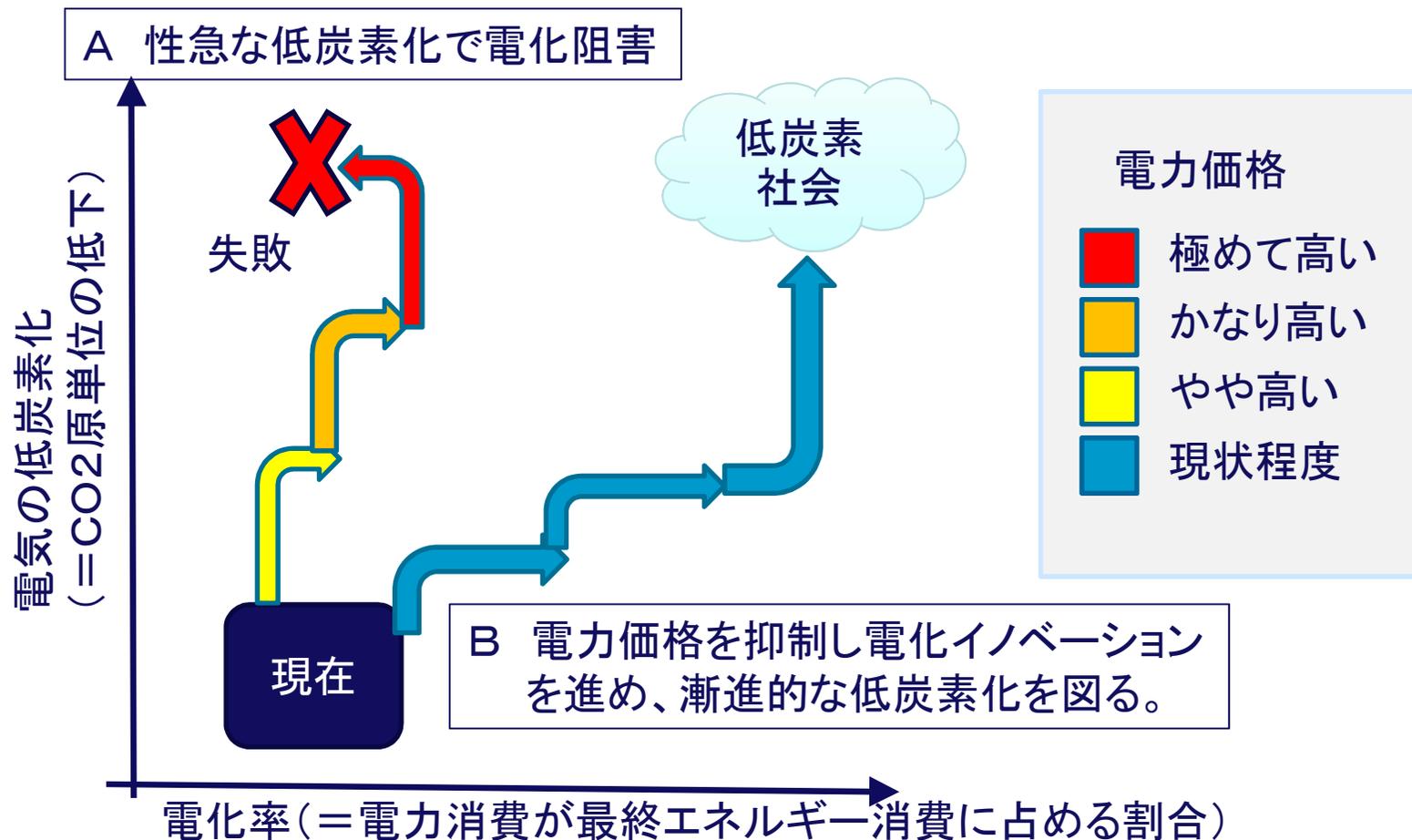


図 低炭素社会の実現のためには、「電気の低炭素化」と「電化(=電化率の上昇)」の両輪が必要である。A:再エネの大量導入など、性急な低炭素化によって電力価格が高騰すれば、電気自動車・ヒートポンプ等の技術開発と普及(イノベーション)が阻害され、電化が進まず、低炭素社会にも到らない。B:原子力・化石燃料発電の活用により電力価格を抑制して、電化イノベーションを進めつつ、漸進的に電気の低炭素化を図る戦略が、低炭素社会に至る現実的な道筋である。

杉山大志、電力価格高騰が遠ざける低炭素社会 国際環境経済研究所HP <http://ieei.or.jp/2015/06/sugiyama150608/2/> を基に作成

# 文献

## 書籍

- ◆ スティーブン・ジョンソン「イノベーションのアイデアを生み出す七つの法則」、日経BP、2013年
- ◆ ブライアン・アーサー「テクノロジーとイノベーション」、みすず書房、2011年。
- ◆ ケヴィン・ケリー「テクニウム」、みすず書房、2014年。
- ◆ ケヴィン・ケリー「インターネットの次に来るもの」、NHK出版、2016年。
- ◆ マット・リドレー「繁栄」、早川書房、2010年。
- ◆ F. A. ハイエク「隷属への道」、春秋社、1992年。
- ◆ M&R フリードマン「選択の自由」、日本経済新聞社、2012年。
- ◆ 松尾豊、「人工知能は人間を超えるか」、角川EPUB選書、2015年。

## 関連記事

- ◆ 拙稿、地球温暖化とICTイノベーション、OHM2016年4月号、オーム社
- ◆ 拙稿、温暖化対策とイノベーション、世界経済評論2016年9月10日号、国際貿易投資研究所(ITI)。