

地域と生活、および2050年炭素中立化に向けたイノベーション課題について

科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 研究統括／上席研究員

森 俊介

第六次環境基本計画に向けた将来にわたって質の高い生活をもたらす「新たな成長」に関する検討会
2023/2/2 12:45-15:00

LCSの社会シナリオ研究の基本理念

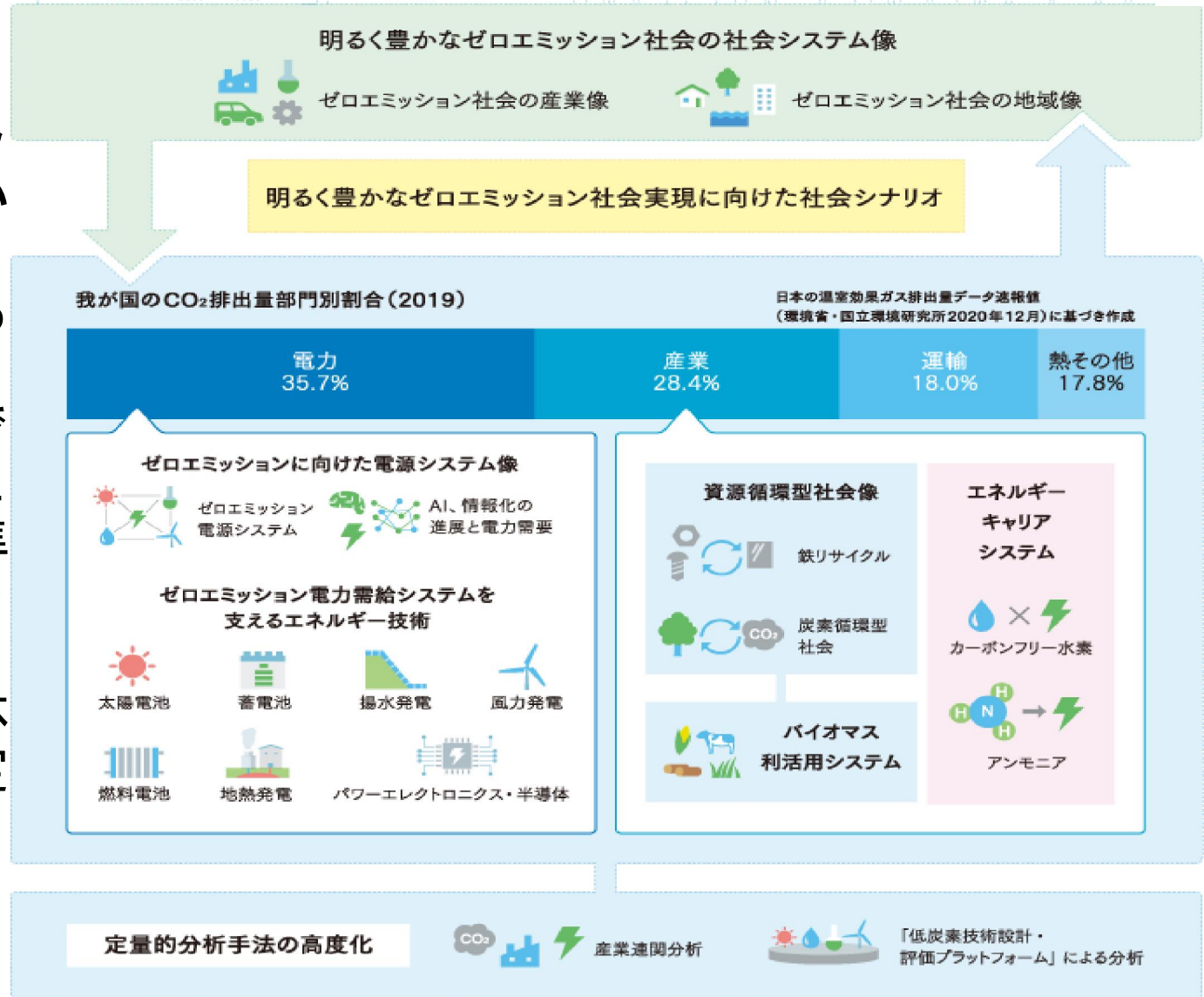
- カーボンニュートラルな社会は、「明るく豊かな」ものとして実現しなくてはならない。
- その成否の鍵を握るのは、科学技術の開発と適切な導入である。
- 温暖化対策実施までの猶予期間が短くなった今、2050年を一つのターゲットとし、この時に実現されるべきカーボンニュートラル社会に向け、今何を準備し、どこまでを2050年までに社会に実装しなければならないかという視点が、特に重要と考える。
- 技術導入が日本全体のカーボンニュートラル社会実現にどのように貢献しうるかを、定量的・系統的なエビデンスに基づいて社会シナリオを示していく。

LCSの社会シナ

明るく豊かなゼロエミッション社会に向けて



- カーボンニュートラシなくてはならない
- その成否の鍵を握る
- 温暖化対策実施までターゲットとし、社会に向け、今何を準備しなければならないかと
- 技術導入が日本全体貢献しうるかを、定リオを示していく。



- ・ 2050年の炭素中立社会の構築に向け、環境と生活の持続可能性がテーマとなる
- ・ 日本においては、少子高齢化は避けられない方向性。その中でエネルギー供給などライフラインインフラ整備と地域の産業持続可能性は、生活のための最重要課題
- ・ 地域の持続可能性は、日本全体の社会経済の持続可能性と統合的なものでなければならない。地域から「環境に悪いもの」を他地域に追い出すような策は、日本の持続可能性をもたらさない。
- ・ そのためには、①日本の活力の源はどこにあるのか、②地域の生活と日本の産業を維持するためにどのような技術が必要か、③日本の全体的な炭素中立化のために、どこがボトルネックとなるのか、という視点が必要。
- ・ さらには、進展が期待されるICTの普及で何ができるのか、普及のために何が望まれているのかを洗い出すことで、世界に向けたビジネスも期待できる。

→ 少子高齢化と情報化の進展は、日本だけでなく東アジア全体に共通する課題。

- ・ 2050年の炭素中立社会の構築に向け、環境と生活の持続可能性がテーマとなる
- ・ 日本においては、少子高齢化は避けられない方向性。その中でエネルギー供給などライフラインインフラ整備と地域の産業持続可能性は、生活のための最重要課題

・ 産業界、学界の技術開発課題は、政府の革新的環境イノベーション戦略(2019-2020)、グリーンイノベーション戦略(2020-)などが各分野の課題と展望を取りまとめ、後者では「ダッシュボード」報告により進捗状況を視覚化している。

→ これらは、地域の社会と経済の持続可能性より、日本全体の大きな排出源に注目。他方、生活の視点からは、日本全体の経済と支える技術とともに、地域の持続可能性を支える技術にも光を当てる必要がある。

→ 少子高齢化と情報化の進展は、日本だけでなく東アジア全体に共通する課題。

世帯別CO2排出実態調査(環境省)にもとづく地域の世帯別民生部門のエネルギーと建材需要の予測



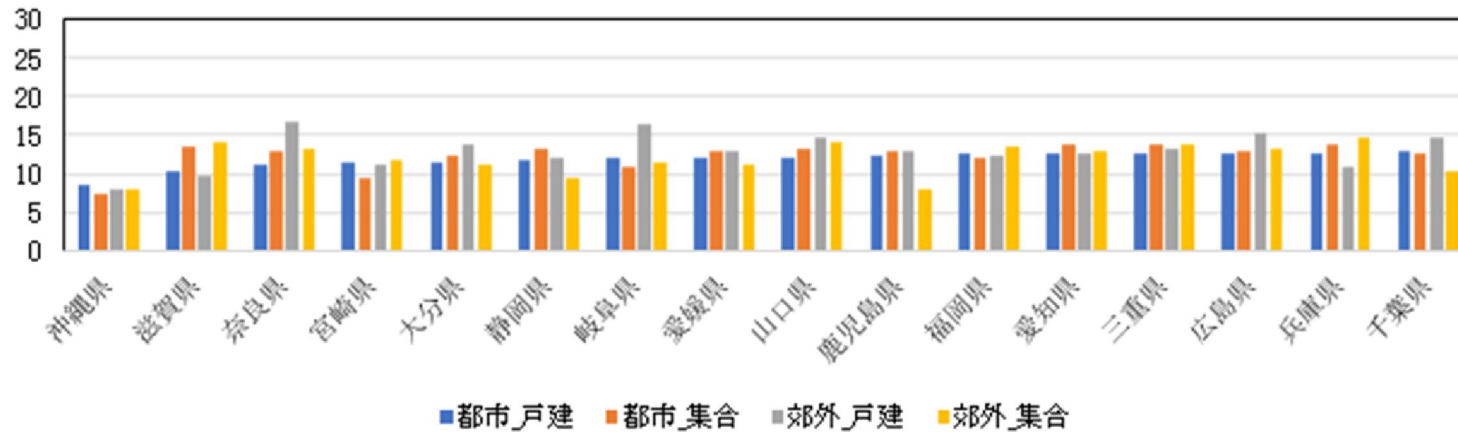
(課題)

- ・ 民生部門(家庭部門・業務部門)のCO2排出は約 1 / 3
 - ・ 人口減少、世帯数変化の地域社会と日本のCO2排出への影響
 - ・ PV、EV、断熱化などの技術のフロー効果と建物新築によるストック建材需要の変化
 - ・ 人口減少のもとで地域社会はどのように維持されるのか？
- ⇒ 村落部だけでなく郊外ベッドタウンの「スポンジ化」も重要課題
- ・ 人口変化、世帯数変化、戸建て住宅・集合住宅数を市町村別に推計し、EV導入、ZEH化などの2030年および2050年でのCO2排出量変化を評価
- 一人当たりCO2排出量は、家庭・移動とも戸建・集合住宅および県の都市中心部とそれ以外の地域で大差がない。移動用エネルギー消費起源の排出量も同様の傾向

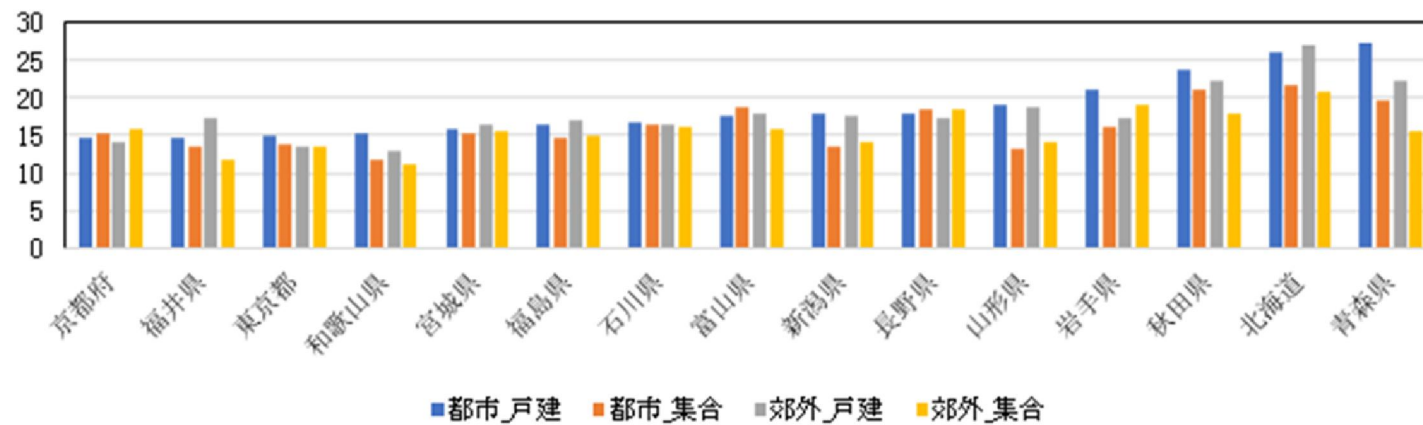
LCS政策提案書、「人口変化、住宅種類選択、住宅省エネルギー技術と電力化を考慮した家庭部門市町村別CO₂排出の地域別将来推計」、LCS-FY2021-PP-15、2022

環境省調査のまとめ 家庭部門一人当たりエネルギー消費の住宅と地域比較
 都市部：県庁所在地の可住地人口密度を超える市町村

一人当エネルギー消費 (GJ) (除自動車)



一人当エネルギー消費 (GJ) (除自動車)

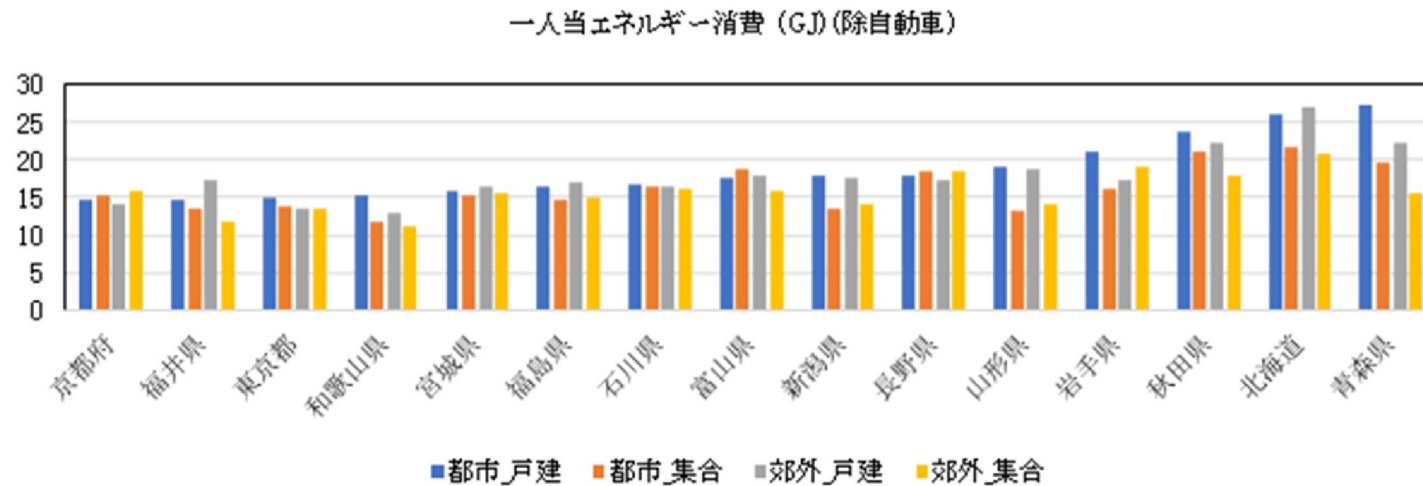
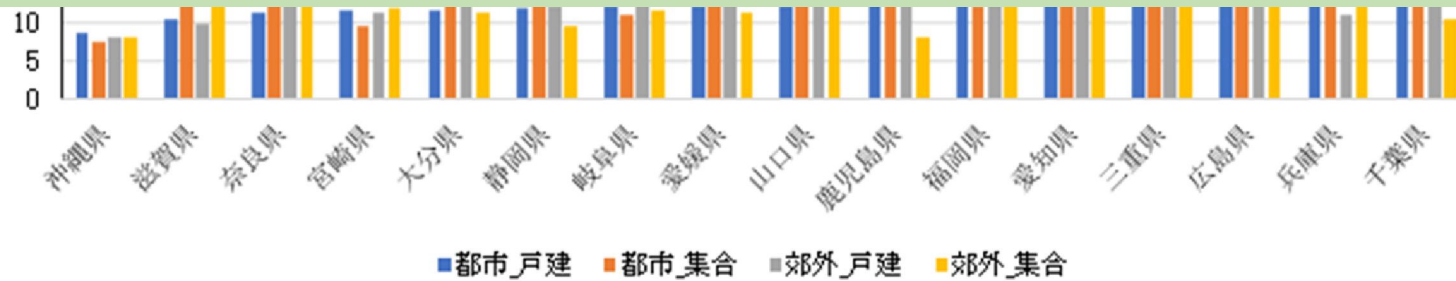


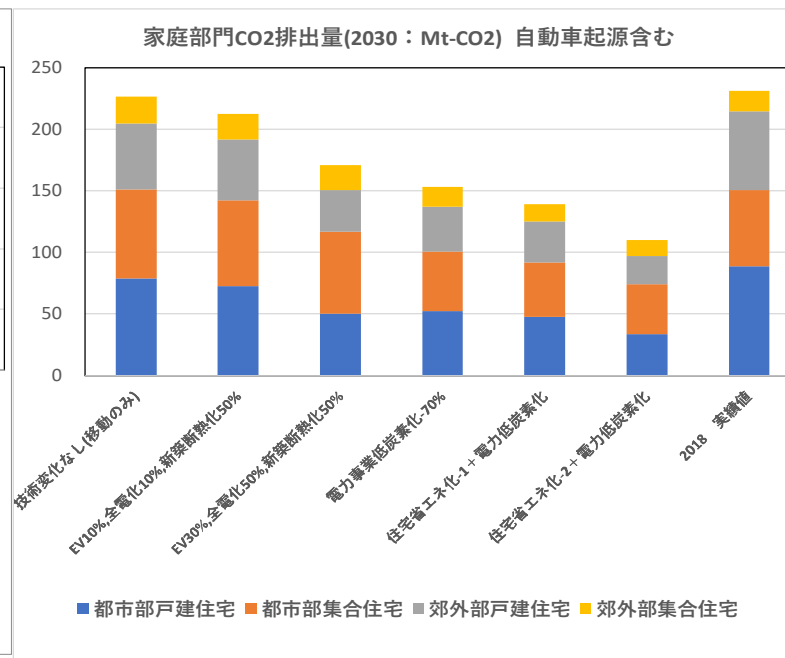
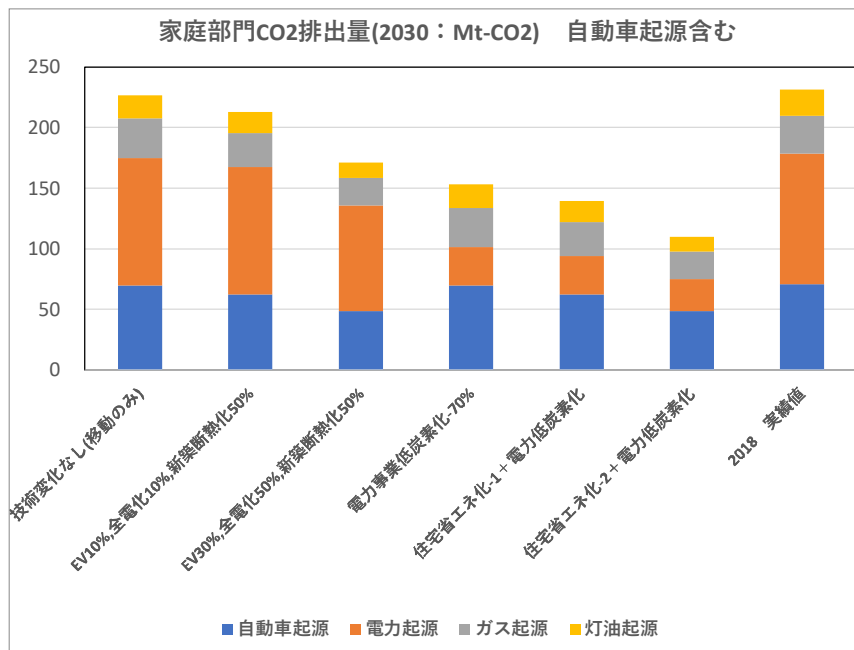
世帯当たりでは集合住宅が低エネルギー消費。しかし一人当たりでは差は不明確単に戸建住宅から集合住宅へ移動させるだけでは効果は小さい

→ 建物の省エネ化が必要。電化、断熱化、PV設置などZEH、ZEH-Mへの期待

・ 移動用エネルギー消費も同様の傾向。県間の差は大きくとも、一人当たりでは住宅地域や住まい方による差は不明確

→ 将来のEV導入の潜在効果やガソリン需要の評価に影響。





人口移動		対2018年 CO2削減率	都市部戸 建住宅	都市部集 合住宅	郊外部戸 建住宅	郊外部集 合住宅	総計
基準ケース	2030-0	戸建住宅世帯集合住宅に分散移動	11.3%	-17.5%	16.5%	-34.3%	1.8%
	2030-d	戸建住宅世帯100%そのまま移動	11.3%	-15.8%	16.5%	-30.0%	2.6%
基準ケース	2030-0	戸建住宅世帯集合住宅に分散移動	18.2%	-13.0%	23.1%	-27.7%	7.9%
省エネ化	2030-d	戸建住宅世帯100%そのまま移動	18.2%	-11.5%	23.1%	-23.8%	8.6%
移動加速	2030-0	戸建住宅世帯集合住宅に分散移動	25.0%	-35.5%	28.8%	-78.6%	2.5%
	2030-d	戸建住宅世帯100%そのまま移動	25.0%	-31.6%	28.8%	-68.6%	4.3%
移動加速	2030-0	戸建住宅世帯集合住宅に分散移動	30.7%	-29.4%	34.3%	-68.1%	8.6%
省エネ化	2030-d	戸建住宅世帯100%そのまま移動	30.7%	-25.8%	34.3%	-59.0%	10.2%

脱炭素化に向けた家庭部門の課題

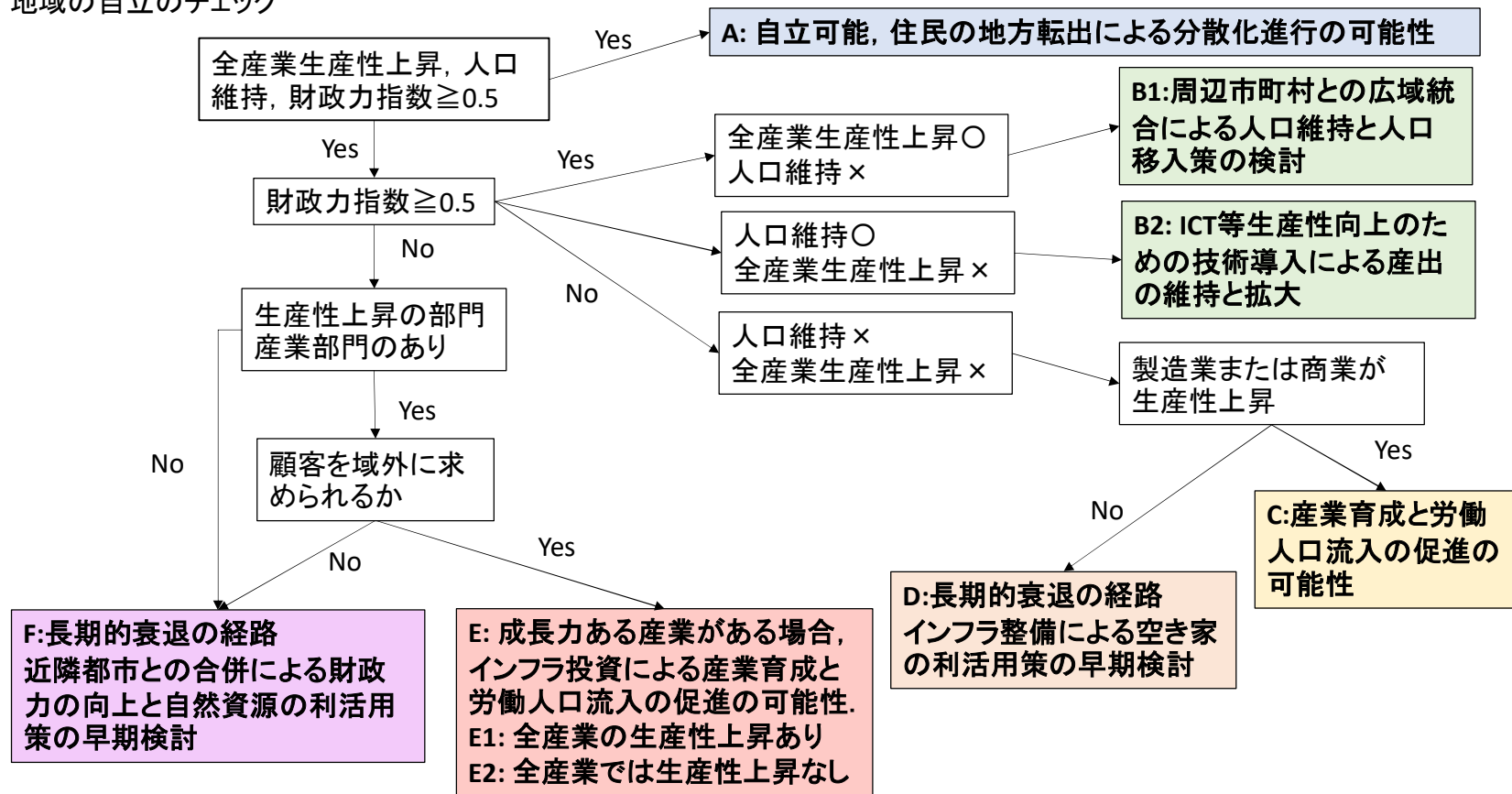
- ・ 少子高齢化が延長すると新築需要が進まずZEH化が遅れる。
 - ・ 集合住宅への集約化は、一人当たりCO2排出に大きな差のないことからそのみでは炭素中立化には向かわない。むしろ、建材からのCO2排出が増加する。
- 既存建物のリノベーションによりどこまでZEH/ZEH-MIに近づけられるか？
- 都市部では公共交通が自家用車を代替できるが、限られた県以外では自家用車が公共交通を置き換え公共インフラを衰退させた。
- 少子高齢化により、特に郊外部・村落部では自家用車の運転者が不足しモビリティが失われる問題が発生。またすでにガソリンスタンドが減少も社会インフラ喪失につながる懸念あり。
- EV化＋自動運転化 は解決策になりうる潜在性がある。また、再エネ拡大時の蓄電バッファにもなりうる。ただし「充電インフラだけでなく、充電の広域管理が必要(特定時間帯に充電需要が集中しないため)」。また、どこでも充電できるためには、課金を「場所」から「使用者」にできるよう、情報システムとの連携が不可欠。
- ・ 郊外部・村落部でのカーシェアリングがどこまでビジネスたりうるか？
 - ・ 家庭部門の電力化は、炭素中立化社会に向け不可避。しかしリスク回避のバックアップへの備えがなければ、天候の不確実性が生活を脅かす危険は残る。太陽光・風力以外の地域エネルギー資源の利活用は人口の多いエリアで大きな可能性(地中熱、河川熱など未利用エネルギー資源は、HPの性能向上により現実的となっている)。
 - ・ 中小規模産業用排熱のカスケード利用は潜在性はあるが、産業の持続可能性が必要。

地域の産業と社会経済の持続可能性

LCSでの検討例： LCS-FY2021-PP-19、「地域自立化に向けた市町村別経済活動の現状分析と方向性」,2022

・約1700の市町村データを下記で整理

地域の自立のチェック



市町村の産業と財政力指数分析の一例：カテゴリFでも特徴ある産業を持つ市町村も多い

分野	製造業(一人当付加価値ベース)	製造業(一人当付加価値ベース)	宿泊・飲食業(従業員ベース)	宿泊・飲食業(従業員ベース)	商業(販売額ベース)	商業(販売額ベース)	他特記事項
北海道芦別市	木材・木製品		日本料理店 そば・うどん店 喫茶店 他飲食店 お好み焼等 持ち帰り等	飲食業 食堂 専門料理店 中華料理店 焼肉店 すし店 酒場 キャバレー他	飲食料品 各種食料品 機械器具	卸売計 衣服 織物他	そば39位 宿根かすみそう(切花)12位 スターチス(切花)17位 ゆり(球根)14位
北海道月形町					商業計		カーネーション(切花)19位 スターチス(切花)23位 ゆり(切花)41位
北海道中富良野町		製造業計	酒場 喫茶店 持ち帰り等	専門料理店 中華料理店 他専門料理店	卸売計	小売計	秋人参13位 たまねぎ7位
北海道雄武町	製造業計		焼肉店	飲食業 専門料理店 中華料理店 そば・うどん店 酒場 キャバレー他 喫茶店	商業計 小売計	卸売計 衣服 織物他 機械器具	乳用牛34位
北海道白老町			宿泊業 飲食業 食堂 専門料理店 酒場 喫茶店	他専門料理店 持ち帰り等	商業計 卸売計 衣服織物他 機械器具		採卵鶏38位
北海道新ひだか町			食堂 中華料理店 そば・うどん店 喫茶店 持ち帰り等	すし店 キャバレー他 他飲食店 他飲食店	商業計 卸売計 小売計 衣服織物他		スターチス(切花)18位

	カテゴリA	カテゴリB	カテゴリC	カテゴリD	カテゴリE	カテゴリF
特徴	財政力指数 ≥ 0.5 、全産業売上生産性(2015/2011)成長率 $\geq 3.5\%$ 、人口比(2045/2016) ≥ 0.9	財政力指数 ≥ 0.5 、全産業売上生産性(2015/2011)成長率 $\geq 3.5\%$ 、人口比(2045/2016) ≥ 0.9 のいずれかの条件を満たさない B1: 人口条件を満たさない B2: 生産性条件を満たさない	財政力指数 ≥ 0.5 、全産業売上生産性(2015/2011)成長率 $< 3.5\%$ 、人口比(2045/2016) < 0.9 、製造業または商業売上生産性(2015/2011)成長率 $\geq 3.5\%$	財政力指数 ≥ 0.5 、全産業売上生産性(2015/2011)成長率 $< 3.5\%$ 、人口比(2045/2016) < 0.9 、製造業および商業売上生産性(2015/2011)成長率 $< 3.5\%$	財政力指数 < 0.5 、農林水産業、製造業、宿泊飲食業いずれかの業種の売上生産性(2015/2011)成長率 $> 3.5\%$ 、人口比(2045/2016) < 0.9 (ただし人口比 0.9を超える自治体が18団体ある)	財政力指数 < 0.5 、全産業売上生産性(2015/2011)成長率 < 1.1 、人口比(2045/2016) < 0.9 、農林水産業、製造業、宿泊飲食業いずれの業種の売上生産性(2015/2011)成長率 $< 3.5\%$
市町村数	112	B1: 382 B2: 64	168	41	795 18 (人口維持18団体含む)	81
人口シェア	22.1%	B1: 34% B2: 10.6% (東京特別区を除くと2.8%)	14.9%	3.2%	13.6% 14.0% (人口維持18団体含む)	0.9%
民営企業売上額シェア	20.1%	B1: 29.7% B2: 31.1% (東京特別区を除くと6.6%)	10.1%	1.9%	6% 6.1% (人口維持18団体含む)	0.4%
将来への方策	脱炭素、省エネルギー技術の積極導入	B1: 周辺市町村との統合の中核化による人口維持と拡大 B2: けん引産業の維持と拡大	インフラの整備とスポンジ化したエリアのサテライトオフィスや育児支援策による人口維持策の導入	構造的な長期的衰退を避けるため、新しい産業の立ち上げ、または特化、広域統合の際の拠点化などが必要	特徴ある産業を維持しつつ、行政単位としては広域統合化に含まれるよる集中化と効率化を目指す	自然資源の活用。再エネ施設、DC等の誘致他はありうる ・必要な場合、県または国が直接管理

課題と展望

- ・ 少子高齢化の人口減少の問題は、村落部だけではない。都市近郊のベッドタウンとして開発された町には、住宅以外の独自産業を持たないため、少子高齢化がそのまま人口減少と空き家・シャッター商店街の増加など基盤を失う傾向を示すところもある。
 - ・ 一方、子育て支援などで町の若返りや出生率の上昇に成功した町もある。
- インフラのしっかりした駅周辺が空洞化したり、空き家が多く再開発のままならない古い住宅街の利活用の手段はないか？コロナ禍以降急速に普及したテレワークのためのサテライトオフィスや育児支援、教育支援など小規模リノベーションとICTの利活用はできないか？
- 人口減少と財政力指数の低い村落でも、産業を詳細に見ると日本有数の地場産業を持つ地域も多くみられる。
- これらの市町村にどのような技術支援の可能性があるか？情報技術による効率化だけでなく、労働力の持続可能な維持が重要。小型協働ロボットの可能性を追求すべき。
- 注目の産業に、データセンター(DC)の誘致がある。寒冷地DCは空調用エネルギーの節減に有効。ただし、電源や交通の確保など条件は多い。積雪が多いと湿度も下がる。
- DCの低温排熱と農林水産業との連系は理論的には有効であるがなお模索中。

産業連関分析モデルによる我が国のボトルネック技術の抽出

- ・ 情報サービスの進展、EV導入、ZEH、ZEH-ready化などの新技術導入はフローとストック両面の影響を見る必要がある。シナリオの評価には、産業連関表の投入係数と資本係数を同時に修正する必要。

→ 本研究前報 (JST-LCS政策提案書LCS-FY2020-PP-19) では、①産業部門へのICT技術 (SaaS/クラウドコンピューティング、情報サービス)、②カーシェアリング及びMaaS、③ ZEH, ZEH-ready、④ EV/PHV導入について、最終消費、投入係数と資本係数の変化を既存の文献から推計し、産業連関表107部門表に導入

→ 今回、⑤ 労働力減少を補う手段としての協働ロボット導入効果、⑥ 陸上貨物輸送部門の脱炭素化のためのFCV、⑦ 直接水素還元製鉄法評価を加える。これらの技術評価、コスト評価はLCS政策提案書として公開されたものを用いる。

→ 評価シナリオに、産業部門の化石燃料用途別消費について電力化、木質チップ、水素に転換するケースを扱う。

- ・ **この報告では、水素利用と化石燃料代替の影響に特に焦点を当てる。これらは「地域」でなく「日本全体の大規模産業」であるが、産業部門によっては小規模用途への水素利用も含まれる。**

→ **ただし、グリーンイノベーションで挙げられた全オプションを含むわけではない。基本はLCSで評価されたものが中心。**

シミュレーションシナリオ (2050年)

⇒ 2030年のシナリオを強化。

Scn-2 (2050年値BAU): 労働供給量は20-69歳人口(2015年値の78%)

Scn-3 (ZEH/新自動車導入): 2050年時点で乗用車ストック62%EV化、新築の45%がZEH/ZEH-ready住宅、貨物自動車新車の90%がEV化(軽貨物)またはPIHV化(小型)

Scn-4: 消費者向け情報サービス業(InfS:4a)、事業者向け情報サービス業(SaaS:4b)、MaaSによる自家用車の置き換え(MaaS:4c)、手作業の必要な産業部門に協働ロボットが導入(RaaS:4d)される。ただし、生産性上昇率は100%に減少

Scn-5 (電炉シェア50%): 電炉シェアを50%に拡大。高炉の2/3はDRI化

Scn-6 (産業部門燃料代替): 産業化石燃料消費の代替。代替は化学工業、製鉄業、石油製品業、窯業を除く各産業の75%まで普及する。

Scn-7 (脱炭素化強化): Scn-6の産業脱炭素化を85%に拡大、普通貨物自動車の90%をFCV化、ZEH/ZEH-readyが90%に達する

シミュレーション結果 まとめ

	GDP(T¥)				CO2排出量(Mt-CO2)	CO2排出量(Mt-CO2)	電力需要(TWh)	電力需要(TWh)	水素需要(PJ)	水素需要(PJ)
	2030	(2015-年成長率)	2050	(2015-年成長率)	2030	2050	2030	2050	2030	2050
2015初期値	548.2				1231.5		1009.6			
Scn-2(2050BAU)	620.2	0.83%	602.6	0.27%	1442.8	1406.7	1153.3	1125.7		
Scn-3(ZEH,xEV)	619.5	0.82%	613.0	0.32%	843.7	771.9	949.4	1043.6		
Scn-4a(InfS)	619.0	0.81%	609.3	0.30%	841.8	761.5	947.2	1030.7		
Scn-4b(SaaS)	725.3	1.88%	800.5	1.09%	936.6	914.0	1053.7	1241.6		
Scn-4c(MaaS)	727.0	1.90%	817.9	1.15%	953.8	942.5	1079.7	1414.2		
Scn-4d(RaaS)	741.0	2.03%	902.7	1.43%	971.1	1046.6	1097.9	1547.0		
Scn-5(電炉50%)	749.1	2.10%	916.8	1.48%	874.1	787.6	1100.3	1553.5	0.0	33.9
Scn-6(産業脱炭素化)	750.0	2.11%	925.9	1.51%	782.4	505.9	1165.5	1907.8	104.2	1164.9
Scn-7(脱炭素化加速)	--	--	923.7	1.50%	--	306.7	--	2062.4	--	1600.9

シミュレーション結果 まとめ

	GDP(T¥)				CO2排出量(Mt-CO2)	CO2排出量(Mt-CO2)	電力需要(TWh)	電力需要(TWh)	水素需要(PJ)	水素需要(PJ)
	2030	(2015-年成長率)	2050	(2015-年成長率)	2030	2050	2030	2050	2030	2050
2015初期値	548.2				1231.5		1009.6			
Scn-2(2050BAU)	620.2	0.83%	602.6	0.27%	1442.8	1406.7	1153.3	1125.7		
Scn-3(ZEH,xEV)	619.5	0.82%	613.0	0.32%	843.7	771.9	949.4	1043.6		
Scn-4a(InfS)	619.0	0.81%	609.3	0.30%	841.8	761.5	947.2	1030.7		
Scn-4b(SaaS)	725.3	1.88%	800.5	1.09%	936.6	914.0	1053.7	1241.6		
Scn-4c(MaaS)	727.0	1.90%	817.9	1.15%	953.8	942.5	1079.7	1414.2		
Scn-4d(RaaS)	741.0	2.03%	902.7	1.43%	971.1					
Scn-5(電炉50%)	749.1	2.10%	916.8	1.48%	874.1					
Scn-6(産業脱炭素化)	750.0	2.11%	925.9	1.51%	782.4	505.5	1055.5	1907.8	104.2	1164.9
Scn-7(脱炭素化加速)	--	--	923.7	1.50%	--	306.7	--	2062.4	--	1600.9

アグレッシブな炭素排出削減オプションを導入しても排出の1/4は残ってしまう。

2050年Scn-7のCO2排出量上位10分野

	CO2排出量 (MtCO2)
航空輸送(*)	67.0
電気事業	55.2
水運(*)	42.8
道路輸送	39.0
石油製品	26.3
銑鉄・フェロアロイ	21.4
石炭製品	19.9
その他の窯業・土石製品(*)	13.3
MaaS	13.1
公共事業	5.2

CO2排出量(MtCO2)	2015	2050
電気事業、道路輸送、銑鉄・フェロアロイ、 家計消費の残余	901.4	128.8
航空輸送、水運、そのほかの窯業・土石製品	60.6	123.1
石油製品、石炭製品	38.6	46.2

2050年Scn-7のCO2排出量上位10分野

	CO2排出量 (MtCO2)
航空輸送(*)	67.0
電気事業	55.2
水運(*)	42.8
道路輸送	39.0
石油製品	26.3
銑鉄・フェロアロイ	21.4
石炭製品	19.9
その他の窯業・土石製品(*)	13.3
MaaS	13.1
公共事業	5.2

炭素中立化対策の難しい産業が2050年に残ってしまう可能性あり。イノベーションが必要

CO2排出量(MtCO2)	2015	2050
電気事業、道路輸送、銑鉄・フェロアロイ、家計消費の残余	901.4	128.8
航空輸送、水運、そのほかの窯業・土石製品	60.6	123.1
石油製品、石炭製品	38.6	46.2

まとめ

- ・日本の炭素中立化を実現しつつ社会と経済の持続可能性を果たすためには、エネルギー技術や産業技術だけでなく、生活と社会の持続可能性のための必要性からも見る必要がある。
- ・特に、人口減少と情報化のトレンドを念頭に置いた地域社会の持続可能性は重要。情報化により、テレワークやモニタリング、ロボットなど技術開発により補える課題もある。
- ・特色ある地域産業の喪失を防ぐことができれば、地域経済の維持の可能性も広がる。特に、人間と作業環境を共有する協働ロボットや公共交通インフラの低下を補うモビリティは必須。技術と制度が一体化して導入されるべき。
- ・郊外部・村落部だけではなく、都市周辺の独自産業を持たないベッドタウンは、インフラが残る間にスポンジ化した街区の小規模再開発を検討し、魅力ある周辺都市と変えて行く必要がある。サテライトオフィスや子育て支援、教育支援などの何が必要か、支える必要技術は何かなど、地域の特性を考慮した洗い出しが必要。
- ・2050年炭素中立化には、技術が乏しくボトルネックとなりうる水運、航空などが残る。DACへの過大な期待は避けるべき。これらは世界で共通の課題として残る。