

令和6年度 「ILCを契機にしたまちづくり(ILCまちづくり)がもたらす 社会的な貢献に関する研究」

【研究テーマ】低炭素まちづくりと社会的価値の向上

【共同研究メンバー】

- グループ① 上田・横山(NTTアーバンソリューションズ総合研究所)
平井(NTTアーバンソリューションズ)
安達(シェルター)
寺澤(アジア航測)
小久保(高砂熱学工業)
澤井(三井住友建設)
八塩(大林組)
- グループ② 吉岡(KEK,岩手大学,岩手県立大学)
滝沢(近藤設備)
寺澤(アジア航測)
- <謝辞> 佐貫、小貫(東北大)

本日の発表内容

1. はじめに

共同研究のテーマについて

2. Whole Life Carbon (WLC)について

2-1. 日本における建設に関わるCO2排出量と再エネ創出量

2-2. WLCの概要

2-3. 日本の建設関連における低炭素化技術とオフセット手法

3. ILCのカーボンニュートラル実現に向けた検討

3-1. ILCに関するWLCの整理、検討イメージ

3-2. ILCにおいて想定されるカーボンオフセットイメージ

3-3. ILC本体建設試算

3-4. 衝突点キャンパス内施設建設試算

3-5. 運用エネルギーのCO2排出量試算

3-6. カーボンニュートラルの達成モデル

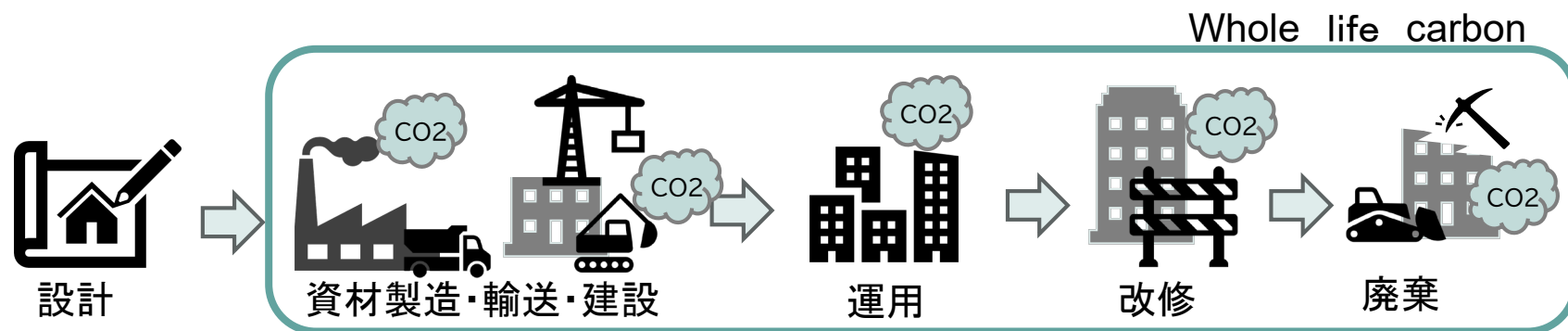
1. はじめに

共同研究のテーマについて

テーマ「低炭素まちづくりと社会的価値の向上」について

■低炭素まちづくりと社会的価値の向上

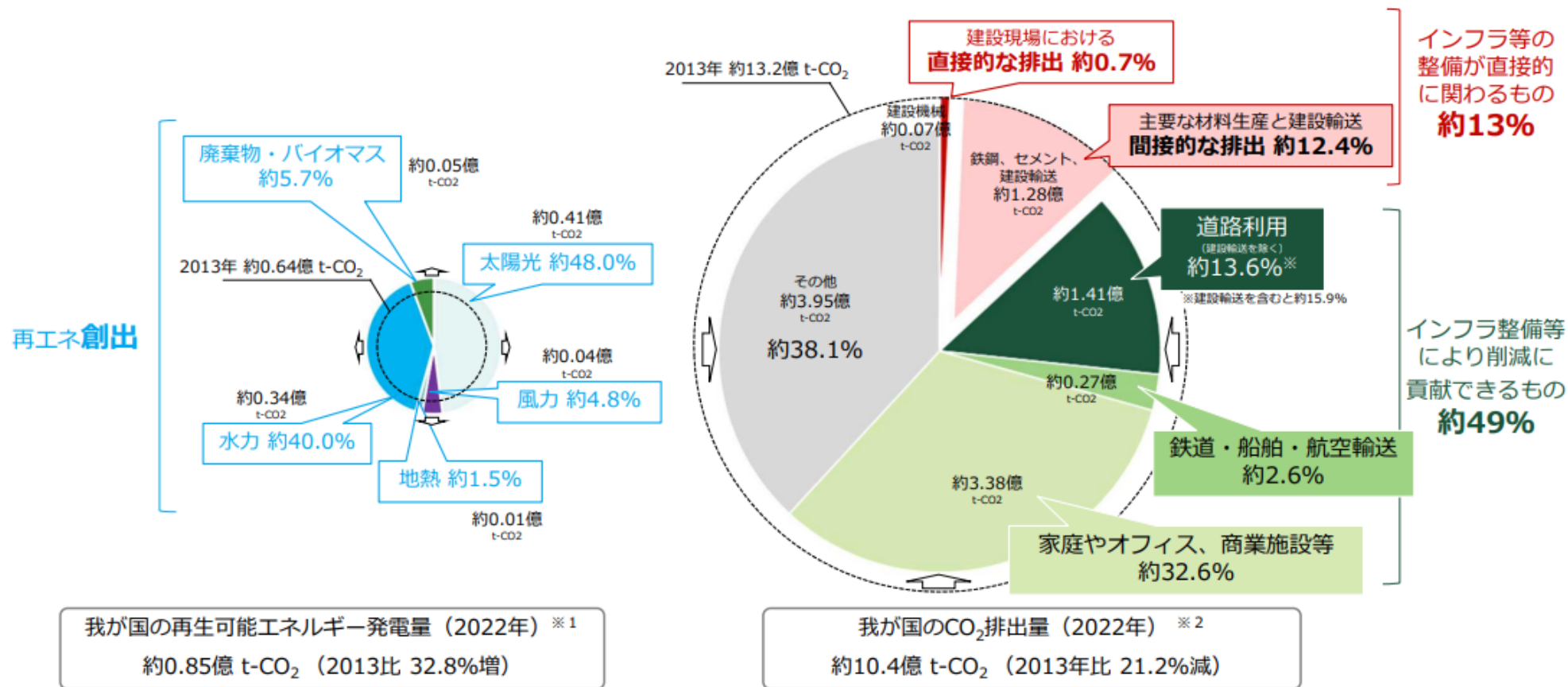
- カーボンニュートラルな社会を目指すには、**Whole Life Carbon**での実現を検討する必要がある。
- しかしWhole Life Carbonで考えた場合、現時点ではカーボンオフセットをしなければカーボンニュートラルを達成することができない。
- そこで、施設での建設～運用～廃棄までのCO₂排出量を把握し、カーボンオフセットをするための手法について調査・とりまとめを行い、ILC誘致でのカーボンニュートラル実現にむけて検討する。



2. WHOLE LIFE CARBON について

2-1. 日本における建設に関わるCO2排出量と再エネ創出量

- 日本全体の約**13%**は建設分野(インフラ整備が直接的にかかわるもの)
- 運用等、インフラ整備等により削減に貢献できるものは**49%**であり、建設時における低炭素まちづくりの検討が大きく影響することが明らか



※1 「総合エネルギー統計」(2013/2022)、「温対法に基づく事業者別排出係数の算出及び公表について」(2012/2021年度実績)に基づき、(一財)国土技術研究センターが試算。

※2 インフラ分野に関係する排出量については、「日本の温室効果ガス排出量データ」(1990-2022年度確報値)、「総合エネルギー統計」、「自動車輸送統計調査」、「普通鋼地域別用途別受注統計」(いずれも2022年確報値)に基づき、(一財)国土技術研究センター試算。なお、鉄鋼以外の金属材料製造や土砂以外の建設廃棄物処理等、インフラ分野に関係するがその他に含まれるものがある。

引用：建設現場の脱炭素調達の必要性和その進捗、今後の方向性 (2023.3 第38回技術研究発表会 早川氏 国土技術研究センター)

2ー2. Whole Life Carbonの概要

■定義

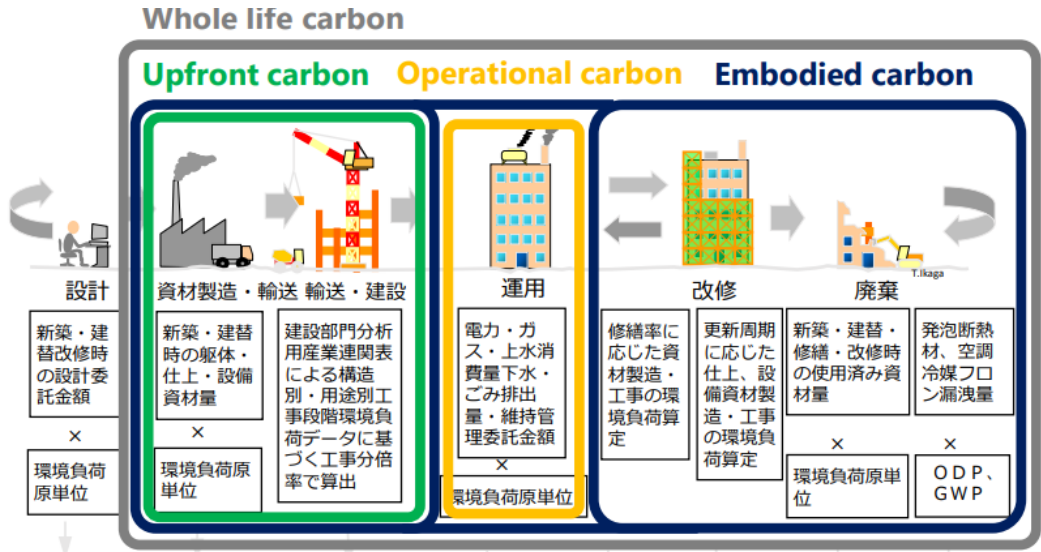
- ホールライフカーボンとは、建物のライフサイクル全体にわたるカーボン排出量
- これは、製造、建設、運用、改修、廃棄の各段階での排出量を含む
- エンボディドカーボンは、運用段階の設備によるエネルギー消費を除く、建築物の資材調達から解体・廃棄段階でのCO2排出量
- さらに、エンボディドカーボンのうち、資材調達・施工段階のCO2排出量をアップフロントカーボンという

■重要性

- ホールライフカーボンを考慮することは、持続可能な建築物の設計において非常に重要
- 建築業界での持続可能性の追求が進むにつれ、ホールライフカーボンの概念がますます重要になっている

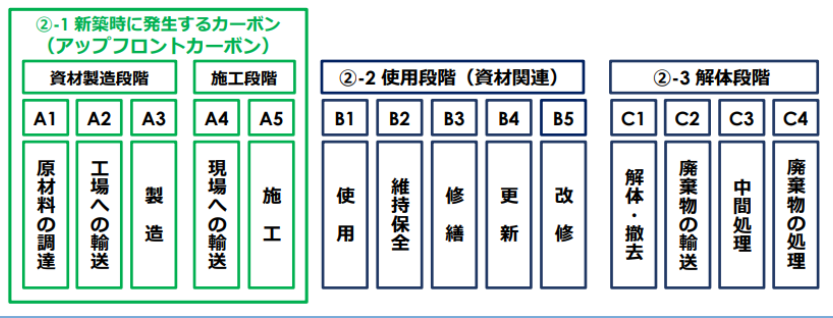
■影響の削減

- ホールライフカーボンを考慮することで、建物の環境に対する影響を削減することが可能
- 建築業界では、ホールライフカーボンを測定するための方法やツールの開発が進んでいる

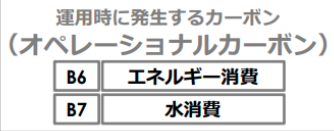


① 建築物のライフサイクルカーボン（ホールライフカーボン）

② 新築・改修・解体時に発生するカーボン（エンボディドカーボン）



③ 使用段階（光熱水関連）



WBCSD, Net-zero buildings: Where do we stand?
Figure 7: Whole life cycle stages, EN15978 (2011)日本語訳（素案）

引用：令和5年度ゼロカーボンビル（LCC02ネットゼロ）推進会議報告書(2024. 6)

2-3. 日本の建設関連における低炭素化技術とオフセット手法

(1) 建築物の脱炭素化に向けた国際社会の動向

欧州ではすでにエンボディドカーボンの算定義務化がはじまっている

年度	日本	世界 (参考)
2022年度	10月:エコまち法の認定基準をZEB Orientedに強化 12月:ゼロカーボンビル推進会議設置 (IBECs)	SBTi新基準公表 仏:住居や校舎のEC算定義務化 スイデン:新築排出量の報告義務化
2023年度	トップランナー制度に共同住宅追加 UC算定マニュアル・ツール公表(予定) (不動協) GX-ETS第1フェーズ開始	GHG7° 0101改正 SBTi Building Sector Guidance公表 COP28:2035年目標設定 デンマーク:大規模建築物のEC算定義務化
2024年度	建築物の販売・賃貸時における省エネ性能表示推進	フィンランド:10%削減宣言が必要な全建築物の計画時EC算定義務化
2025年度	省エネ適合義務化 住生活基本計画の見直し 建築物環境計画書制度の拡充・強化(東京都) ←アップフロントカーボン算定義務化施行(2025.04)	EU:全建材のGHG排出データ開示義務化
2026年度	GX-ETS第2フェーズ開始	
2027年度		EU:大規模建築物のLCCO2報告義務化
2028年度	炭素賦課金開始	
2029年度		
2030年度	2013年比46%削減達成(国) カーボンハーフ達成(東京都)	WGBC目標:全新築建築物のネットゼロ達成 EU:全建築物のLCCO2報告義務化

※ EC:エンボディドカーボン、UC:アップフロントカーボン

2-3. 日本の建設関連における低炭素化技術とオフセット手法

(2) 日本の建設関連企業の有する低炭素化技術 ※実証フェーズを含む

鉄鋼、セメント等の建設材料や、建設現場におけるCO2削減に向けた普及促進を図る

低炭素型コンクリート



大林組・クリーンクリートN®



三井住友建設・サステインクリート®



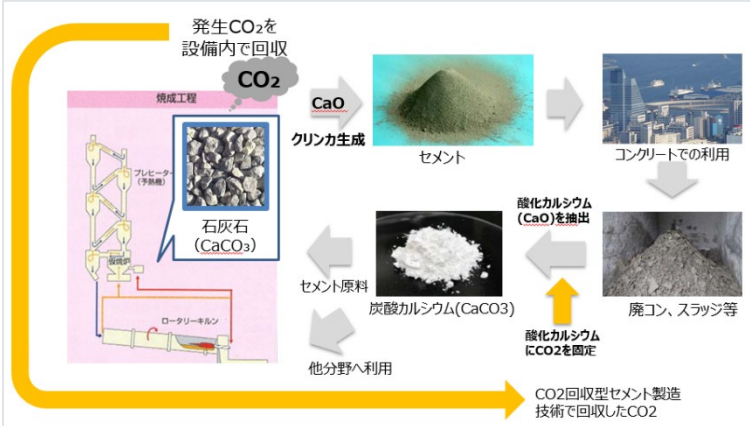
コンクリート由来の産業廃棄物にCO₂を固定化したコンクリートの適用 (ベンチ、ブロック、舗装) (フューチャーライパーク)

環境配慮型コンクリートを使用し、CO₂を70%削減 (SUICOM ドーム、ブロック) (キッズエクスペリエンス、EXPOアリーナ)

地盤改良に、CO₂固定した微粉末を使用 (地盤改良 200m³) (三菱未来館)

製造過程でのCO₂排出量を80%以上削減したプレキャストコンクリート部材を使用 (基礎部材) (EXPO メッセ棟)

〔出典〕各社HPや関係団体のHP等の情報を基に資源エネルギー庁等がまとめた



発生CO₂を設備内で回収

CO₂ → CaO → クリンカ生成 → セメント → コンクリートでの利用

石灰石 (CaCO₃) → セメント原料 → 炭酸カルシウム (CaCO₃) → 酸化カルシウム (CaO) を抽出 → 酸化カルシウムにCO₂を固定

他分野へ利用

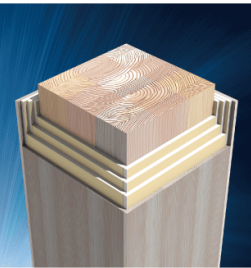
CO₂回収型セメント製造技術で回収したCO₂

2030年頃までに実用化を目指す
「CO₂や廃棄物等をリサイクルしたカーボンリサイクルセメント製造等技術」

引用：資源エネルギー庁：https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyoo/concrete_cement.html
経済産業省他：https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/green_innovation/energy_structure/pdf/025_03_00.pdf
大林組：https://www.obayashi.co.jp/news/detail/news20230410_1.html
三井住友建設：<https://www.smcon.co.jp/service/sustain-crete/>

木材の活用

木質耐火部材

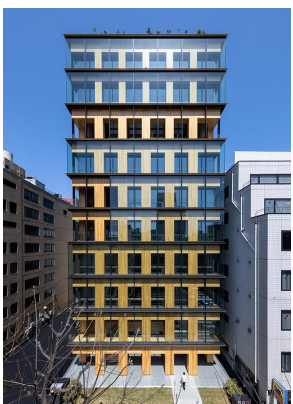


シェルター・大林組
「COOLWOOD」、並びに「オメガウッド」

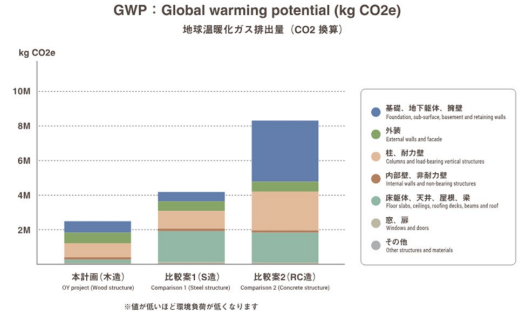
木造耐火建築物



シェルター・純木造耐火建築物「高惣木工ビル」



大林組・純木造耐火建築物「Port Plus」



GWP : Global warming potential (kg CO₂e)
地球温暖化ガス排出量 (CO₂換算)

kg CO₂e

10M
8M
6M
4M
2M

未計画 (未建) (Off project (Wood structure))
比較案1 (全木) (Comparison 1 (Wood structure))
比較案2 (RC造) (Comparison 2 (Concrete structure))

※値が低いほど環境負荷が低くなります

- 基礎、地下躯体、擁壁
Foundation, sub-surface basement and retaining walls
- 外装
External walls and facade
- 柱、耐力壁
Columns and load-bearing vertical structures
- 内部壁、非耐力壁
Internal walls and non-bearing structures
- 床躯体、天井、屋根、床
Floor slabs, ceiling, roofing, beams and roof
- 窓、扉
Windows and doors
- その他
Other structures and materials

引用：シェルター (COOLWOOD)：<https://shelter.inc/technology/cool-wood>、大林組 (オメガウッド) https://www.obayashi.co.jp/news/detail/20160229_1.html
高惣木工ビル：<https://shelter.inc/works/099161657>、Port Plus：<https://www.oyproject.com/details/#lca-data>

その他低炭素化技術

➤ さまざまな低炭素技術や、吸収・除去技術をむすびつけることによって、CO2削減・オフセット活用

緑化・ブルーカーボンの推進

大型海藻類を大量培養できる技術を確立



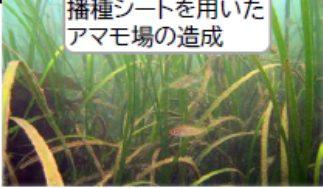
鹿島建設・藻場の造成

コンクリートブロック稜線の海藻類着生の促進



不動テトラ・テトラネオ

播種シートを用いたアマモ場の造成



東洋建設・アマモ場造成

雑草抑制効果を持つ地皮植物を低費用で植栽



東急建設・クラピア

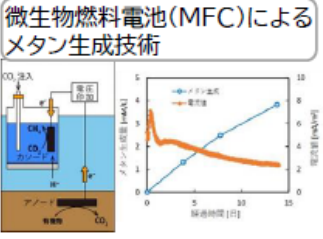
高いデザイン性を持つ壁面緑化システム



東鉄工業・トラスシステム

バイオマスの活用

微生物燃料電池(MFC)によるメタン生成技術



西松建設・MFC方式によるメタン生成

流木等を材料としたバイオマスガスのエネルギー活用



鉄建建設・バイオマスガス発電システム

バイオマスを活用しエネルギー創出



フジタ・プライムカーボン

バイオマス混合材を用いた地盤改良によるCO2固定



不動テトラ・SAVEコンポーザー(バイオマス材料)

再生可能エネルギーの創出

路面太陽光パネルと蓄電池による太陽光発電舗装システム



東亜道路工業・Wattway Pack(◆)

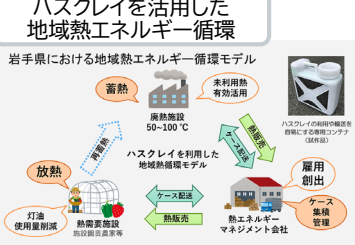
中山間地の農業用水を活用した小水力発電を運営



飛鳥建設・小水力発電

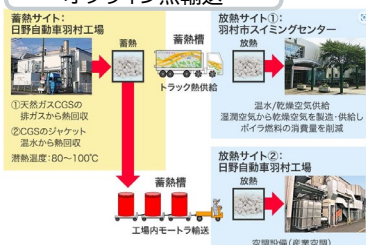
排熱活用

ハスクレイを活用した地域熱エネルギー循環



東日本機電開発等による共同研究

ハスクレイを活用したオフライン熱輸送



高砂熱学工業等のNEDO事業

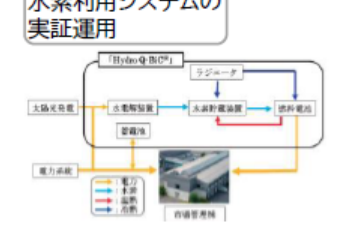
水素活用

市街地で大量の純水素を使い一般施設に熱と電気を供給



大林組・水素CGS活用スマートコミュニティ技術開発

水素利用システムの実証運用



清水建設・Hydro Q-Bic

太陽光パネルを設置し遠隔カメラ等を駆動

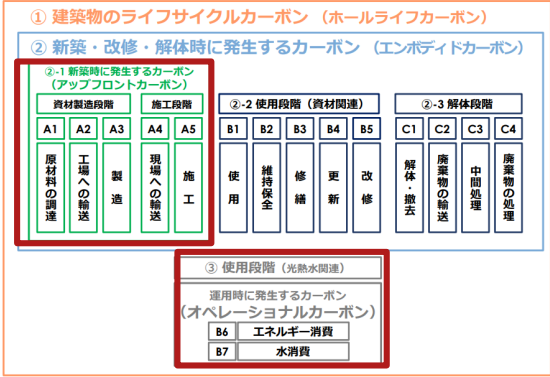
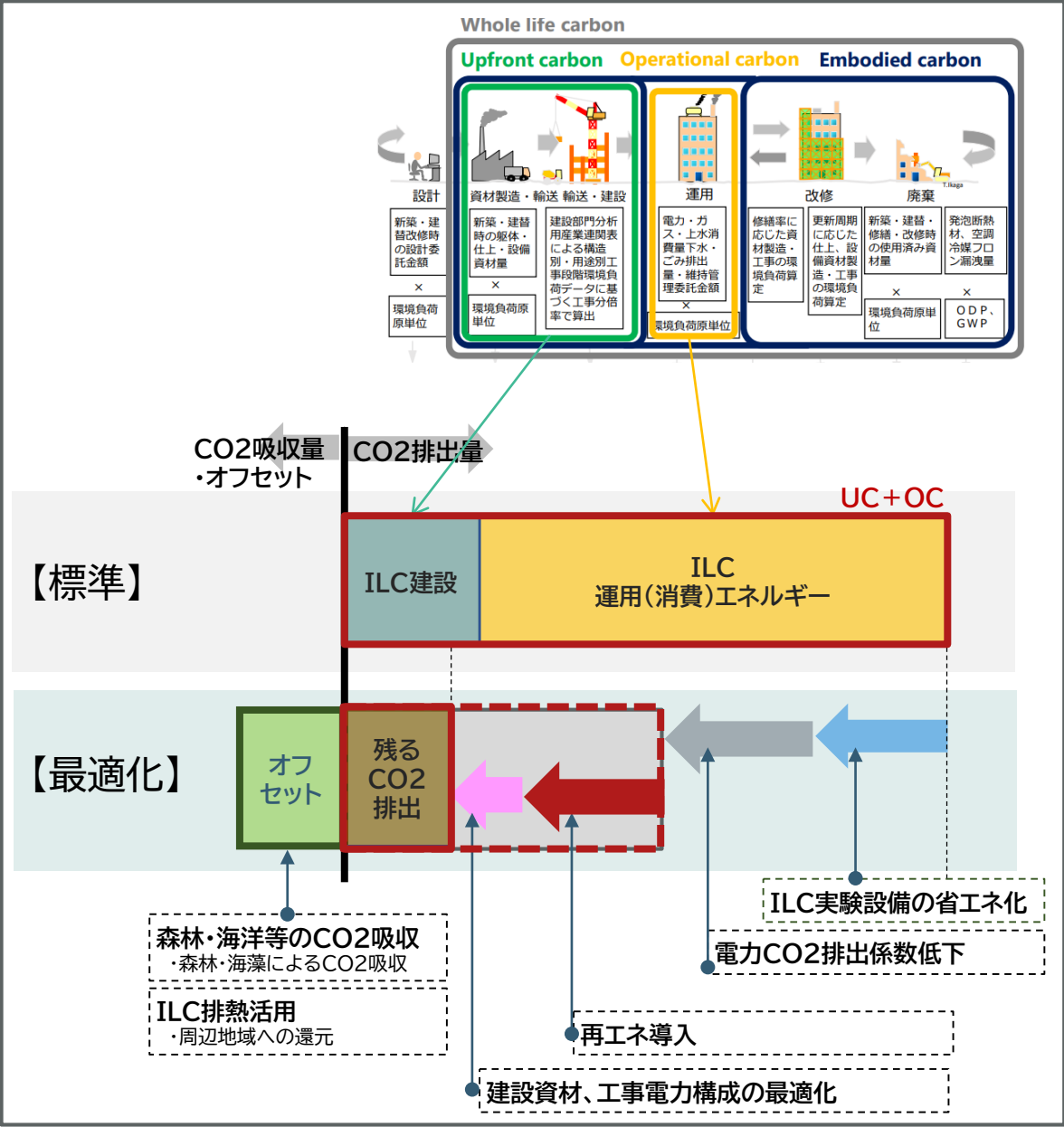


岩倉建設

引用：建設現場の脱炭素調達の導入に向けたロードマップ（2023.3 第38回技術研究発表会 井上清敬氏 国土技術研究センター）より抜粋
東日本機電開発：<https://www.kidenkaiatsu.com/business/pioneering4.html>
高砂熱学工業：<https://www.tte-net.com/solution/megastock.html>
岩手大学、東北ILC事業推進センターほか「ILC誘致を契機にしたまちづくり(ILCまちづくり)がもたらす社会的な貢献に関する研究」2024年度

3. ILCのカーボンニュートラル実現に向けた検討

3-1. ILCに関するWLCの整理、検討イメージ



WBSCSD, Net-zero buildings: Where do we stand?
Figure 7: Whole life cycle stages, EN15978 (2011)日本語訳 (素案)

Whole Life ILC-Carbon **Neutral**を目指す

※ ILCの年間消費電力量：7億kWh
※ 改修・廃棄は今回試算対象から除外

3-2. ILCにおいて想定されるカーボンオフセットイメージ

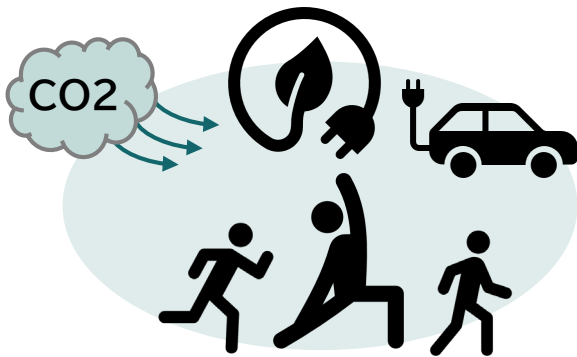
▶吸収系クレジットの活用

木や海藻が成長によりCO2を吸収し、蓄積する効果を認証し、クレジット化



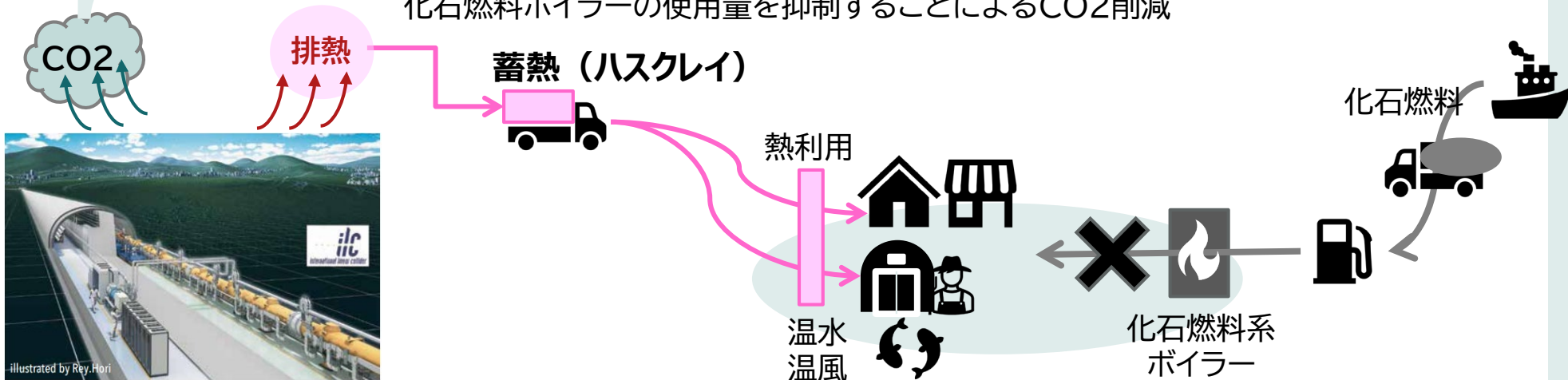
▶行動変容

人の行動変容によるCO2削減を計測・クレジットや地域ポイント化して、還元



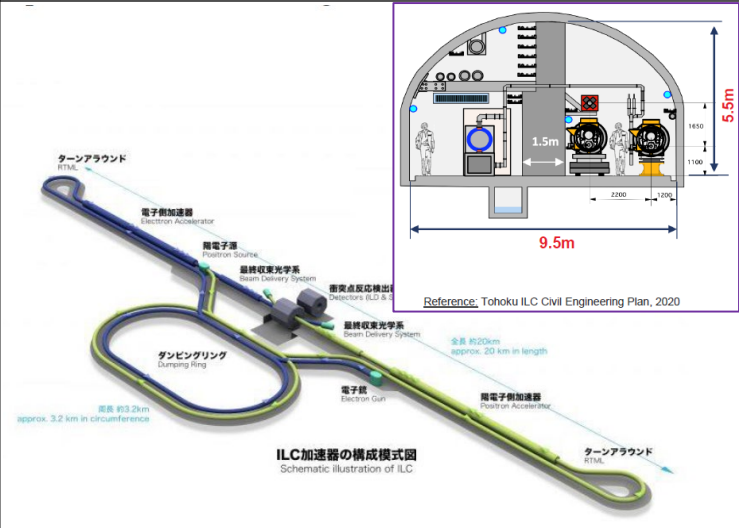
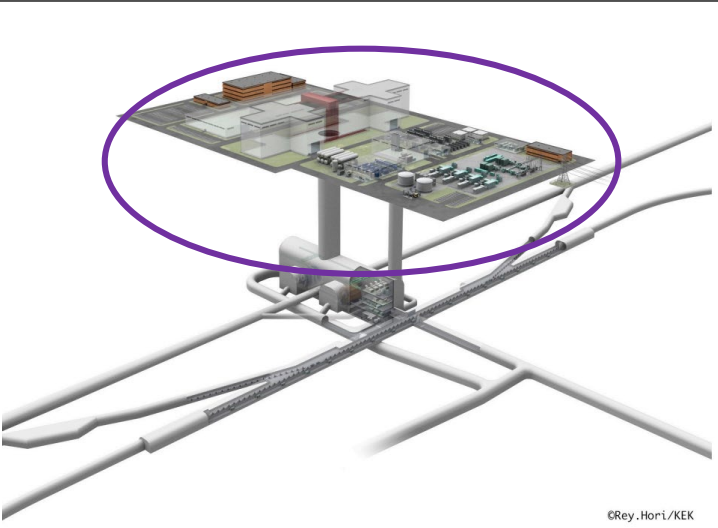
▶ILC排熱活用

ILCから放出される熱を回収し、地域で熱の再利用をすることで、化石燃料ボイラーの使用量を抑制することによるCO2削減



ILC施設

3-3. ILC建設モデル対象範囲

	関連 インフラ	ILC本体	関連施設
		トンネル、ダンピングリング他	衝突地点キャンパス
	構成	250GeV 計33km長(Damping ring,Access tunnels,other tunnels) ・立抗(Shafts) ・大空間空洞(Caverns) ・トンネル(Tunnels)	施設面積 約2.5ha ・アッセンブリーホール ・設備管理棟 ・福利厚生施設 ・リサーチオフィス等
ライフ サイクル カーボ ン	整備段階 (A1~A5)	部材調達 輸送 土木・建設工事 ARUP 報告書	部材調達 輸送 土木・建設工事 ・J-CATケーススタディ ・シェルター試算
	運用段階 (B6,B7)	研究に係る電力使用量(電力)	研究に係る電力使用量(電力)
	廃棄・除却 (C1~C4)	—	—
			

引用：Suzanne Evans, Ben Castle et.al” Life Cycle Assessment Final Report23rd June2023(ARUP) , Suzanne Evans “Whole life cycle assessment approach for linear colliders” LCWS2024、東北ILC 事業推進センター,「東北ILC 施設計画」(2020 年10 月)
岩手大学、東北ILC事業推進センターほか「ILC誘致を契機にしたまちづくり(ILCまちづくり)がもたらす社会的な貢献に関する研究」2024年度

3-3. ILC本体建設試算

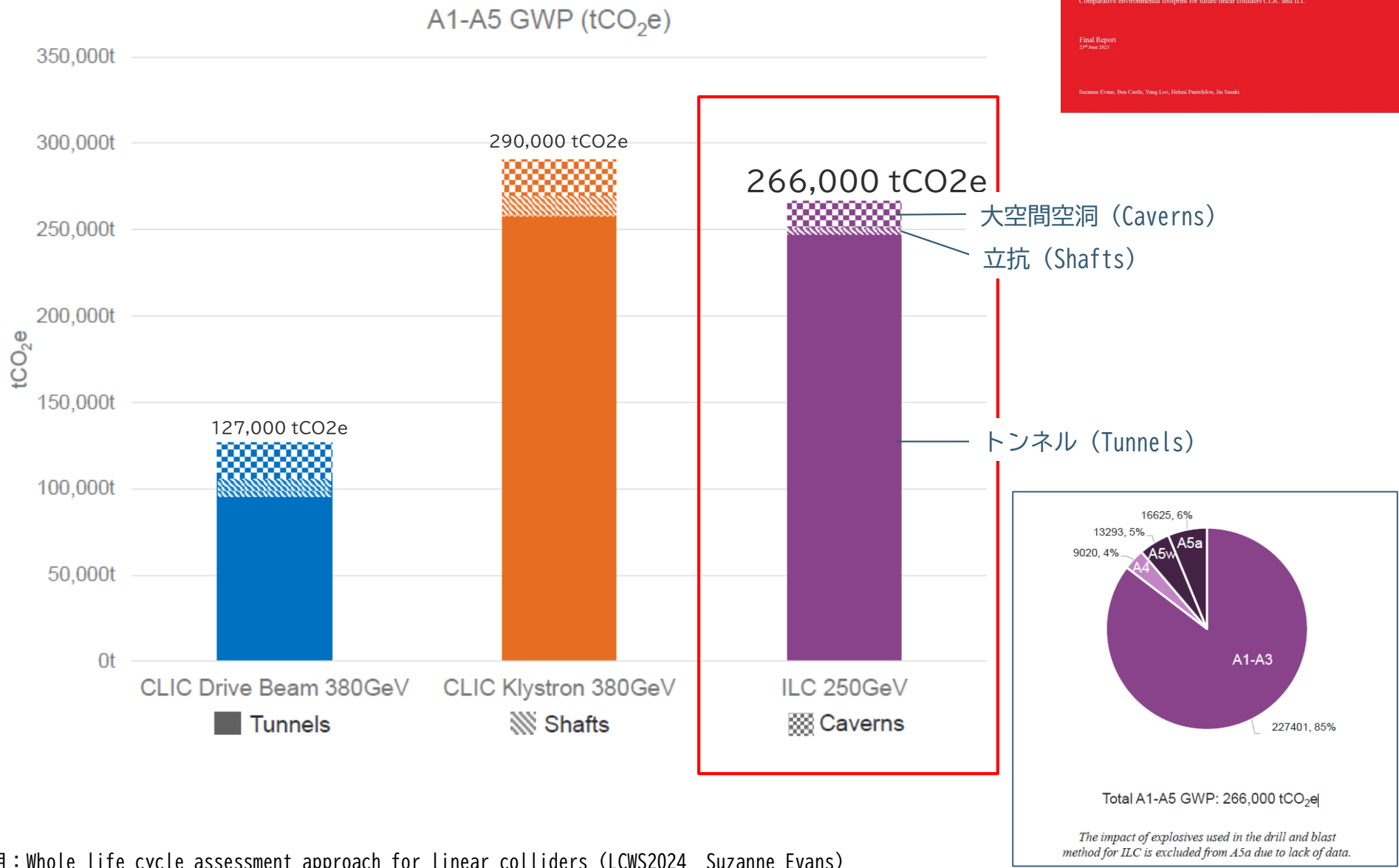
①概算のための、建設のCO2排出量試算条件

ARUP

2030年のベースライン想定

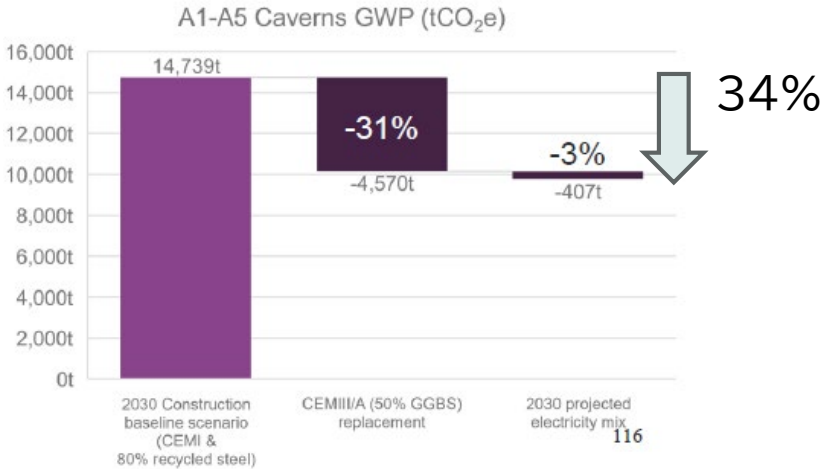
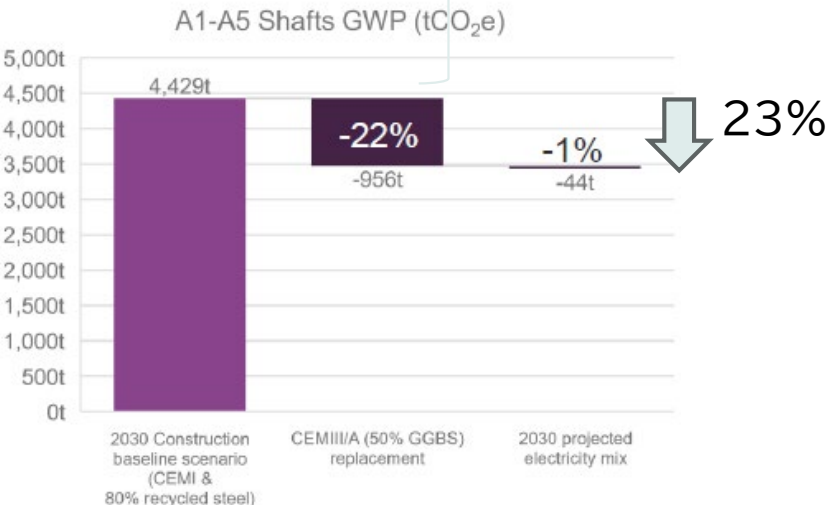
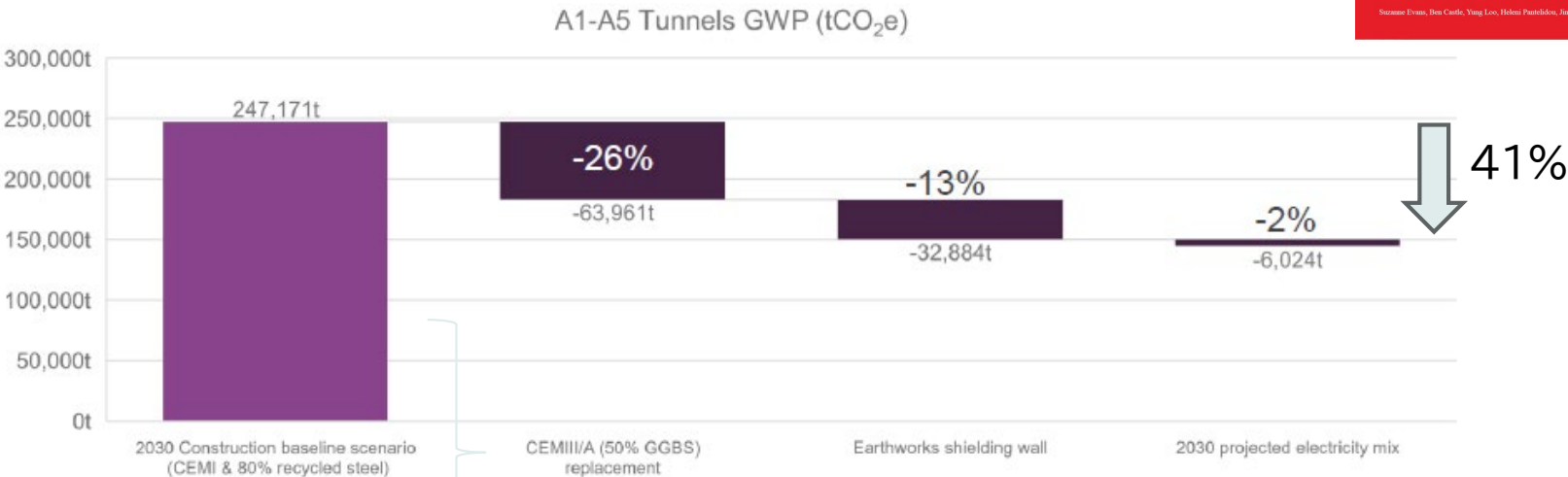
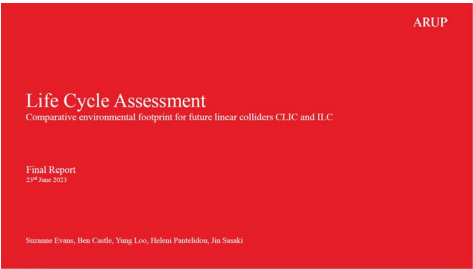
建設LCA		CLIC Drive Beam	CLIC Klystron	ILC
材料 (A1-A3)		コンクリート（CEMI）と鉄（80%リサイクル）		
現場への資材の輸送（A4）		コンクリート：道路で地元まで（50km） 鉄：道路でヨーロッパまで（1500km）		
建設活動 (A5)	建設中に無駄になる材料	現場打ちコンクリート: 5% プレキャストコンクリート: 1% 鉄筋: 5%		
	廃棄物の敷地外への輸送	コンクリートおよび鉄鋼リサイクル: 道路で 30km コンクリートおよび鉄鋼埋立地: 道路で 30km 廃棄物: 道路で 20km 使用済み建設資材の 90% がリサイクルまたは再利用され、10% が埋め立てられると想定します。		
	建設プロセス	トンネル掘削機（TBM）		
	2021/2022年の電力構成	化石燃料: 12% 非化石燃料: 88%		
		掘削 & 発破* *爆発物はデータ不足のため除外		
		化石燃料: 71% 非化石燃料: 29%		

3-3. ILC本体建設試算
②ILC本体 A1-A5の試算結果 (標準値)



3-3. ILC本体建設試算

②ILC本体 A1-A5の試算結果（最適化）
最適化により、全体で約**41%**の削減を想定している。

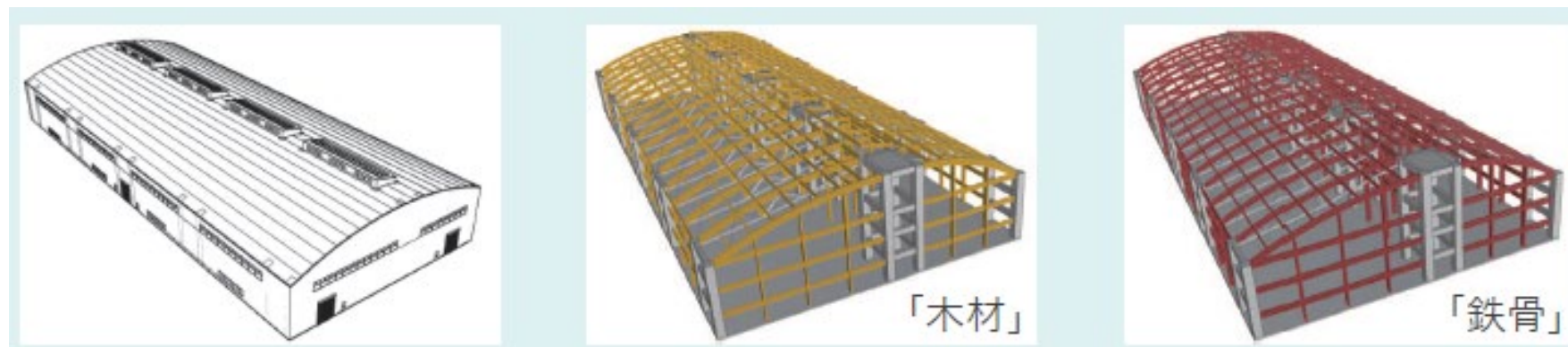


引用：Life Cycle Assessment Comparative environmental footprint for future linear colliders CLIC and ILC (Suzanne Evans他 ARUP 2023)

3-4. 衝突点キャンパス内施設建設試算条件

建物名称	延床面積 (m2)	試算用想定			
		主構造 (標準)	主構造 (最適化)	評価年	試算データ
【事務所施設】 設備管理棟、 リサーチオフィス等	12,000	S造	木造	60年	J-CATのケーススタ ディーより、事務所S造の 平均値
【大規模空間施設】 アッセンブリーホール、SID、 ILD	13,000	S造	木造	60年	シェルター仕様(下図)を 用いてJ-CATにて試算

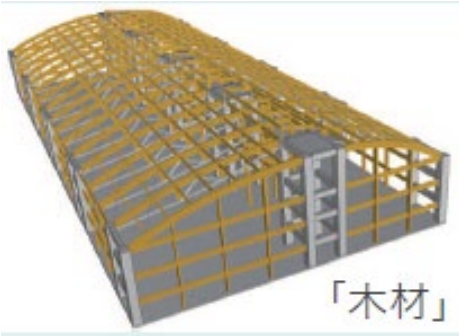
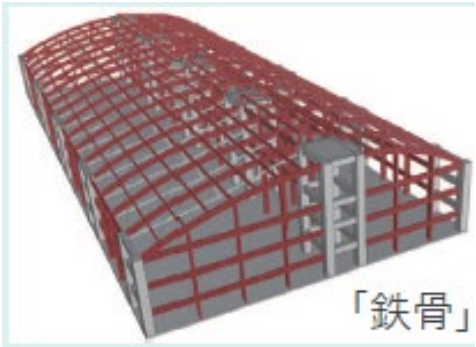
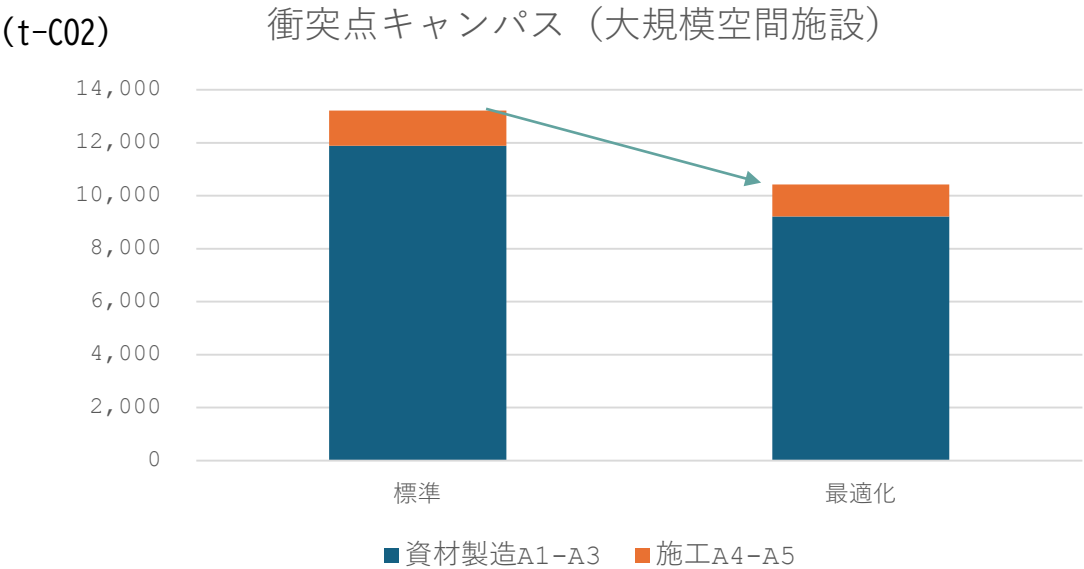
最適化は、木造化を想定した場合とする



参考：ILC実験準備棟木造化による地域経済への波及効果（安達、吉岡、関、成田、大平 PASJ2018）
 東北ILC事業推進センター、「東北ILC施設計画」（2020年10月）、吉岡正和、「グリーンILC（東北ILC準備室・技術部門・設備設計部会 2017. 12. 26）」
 ILC TDR(Technical Design Report)、他ヒアリングによる

3-4. 衝突点キャンパス内施設建設試算

③衝突点キャンパス 大規模空間 A1-A5の試算結果（標準と最適化）



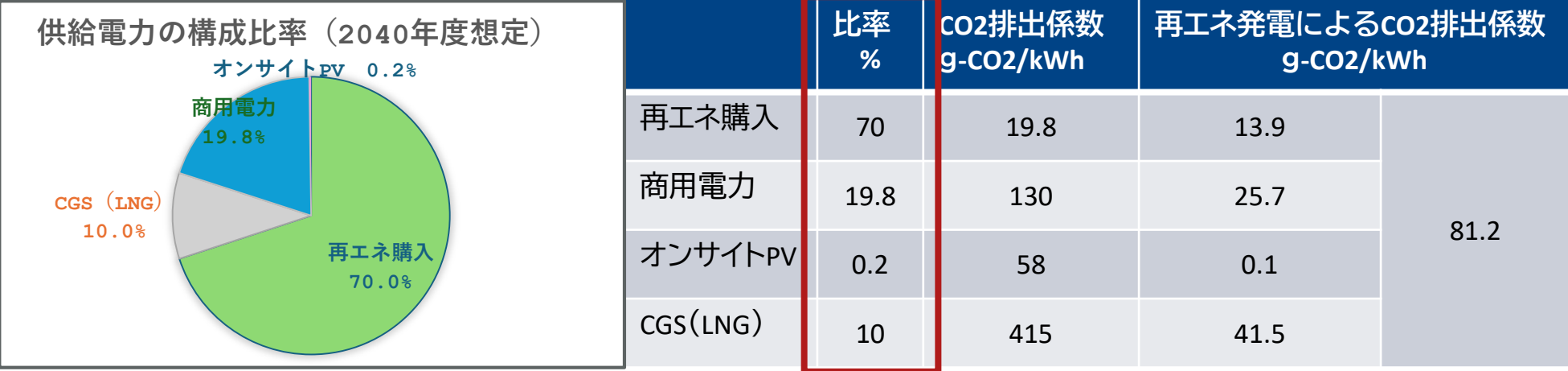
木造の貯蔵量:
2,162t-CO2

表記方法:ISO21930(2017)
算定方法:林野庁 建築物に利用した木材に係る炭素貯蔵量の表示に関するガイドラインによる

- 条件：
- ・評価期間60年とし、資材製造（A1-A3）と施工（A4-A5）の段階の合計値（kg-CO2/㎡年）を算出
 - ・以下を条件に評価期間は「60年」として計算
 - 耐用年数38年とし、評価期間内に建て替えはない
 - 使用木材が持続可能な森林からの調達であること(再造林が行われていること)
 - 建替え周期60年とする。(60年以内に建替えを見込まない)

3-5. 運用エネルギーのCO2排出量試算

グリーンILCとして想定した供給電力のCO2排出係数



算出条件

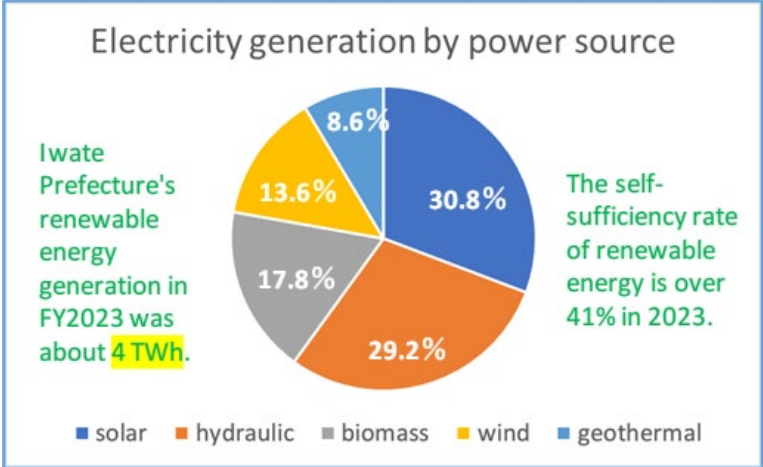
■CO2排出係数を算出する際の仮説は共同研究「低炭素まちづくりと社会的価値の向上」テーマ①②内での仮説である

- ・ ILCの年間消費電力量：7億kWhとする
- ・ 再エネ購入：岩手県再エネを70%調達したと想定した係数
- ・ 商用電力：第7次エネルギー基本計画よりグループ②にて算出したCO2排出係数(113～145kg-CO2/kWh)より、平均値130kg-CO2/kWhと想定
- ・ オンサイトPV、CGS（LNG）：資源エネルギー庁「CO2排出量」を考える上でおさえておきたい2つの視点より引用

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/lifecycle_co2.html

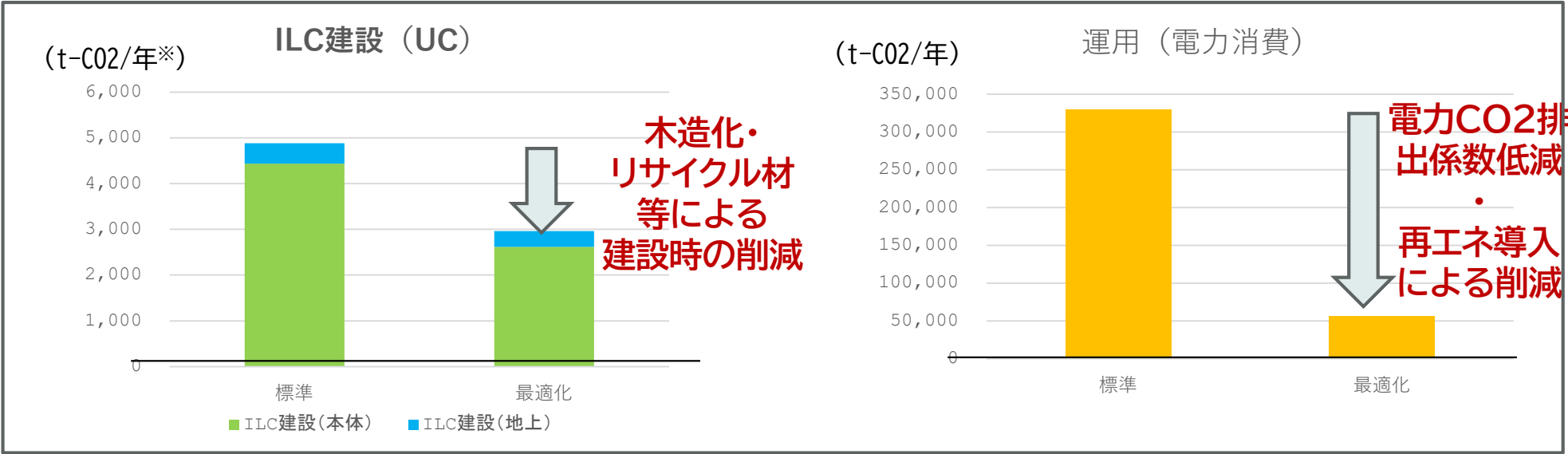
- ・ 供給電力構成：岩手県産再エネを70%、CGS（LNG）10%、オンサイトPV 0.2%、商用電力19.8%の割合と想定
- ・ オンサイトPV：自家消費用として1.2MWを敷地内に設置したと想定

再エネ導入比率（岩手県における導入状況）

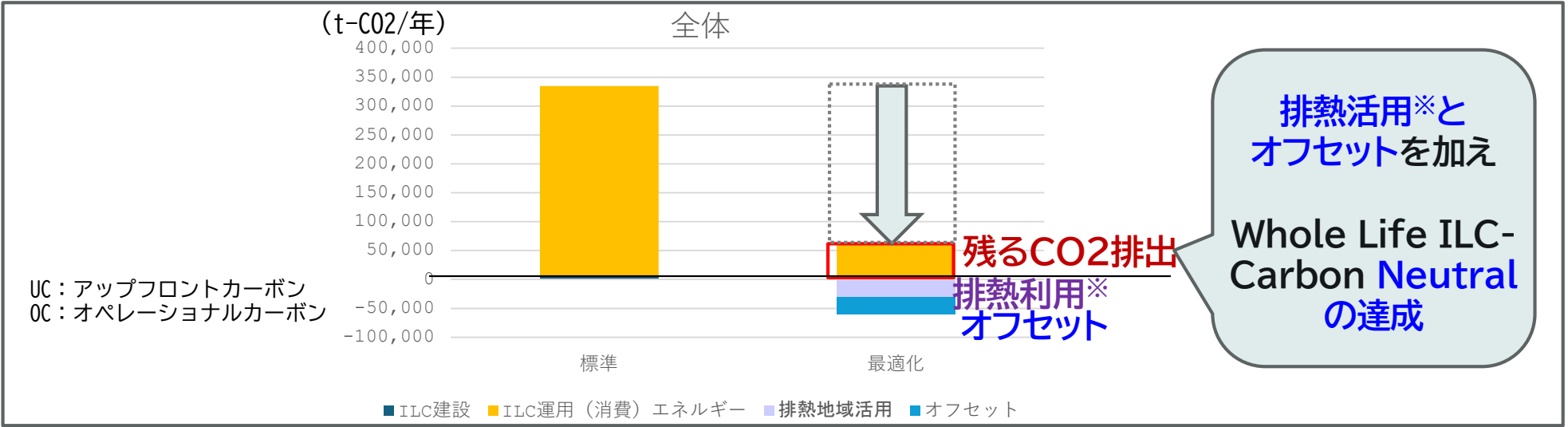


岩手県における再エネ導入量内訳(2023年)
引用: M. Yoshioka”Efforts toward a Green ILC in Japan”
LCWS2024(2024.07)

3-6. カーボンニュートラルの達成モデル



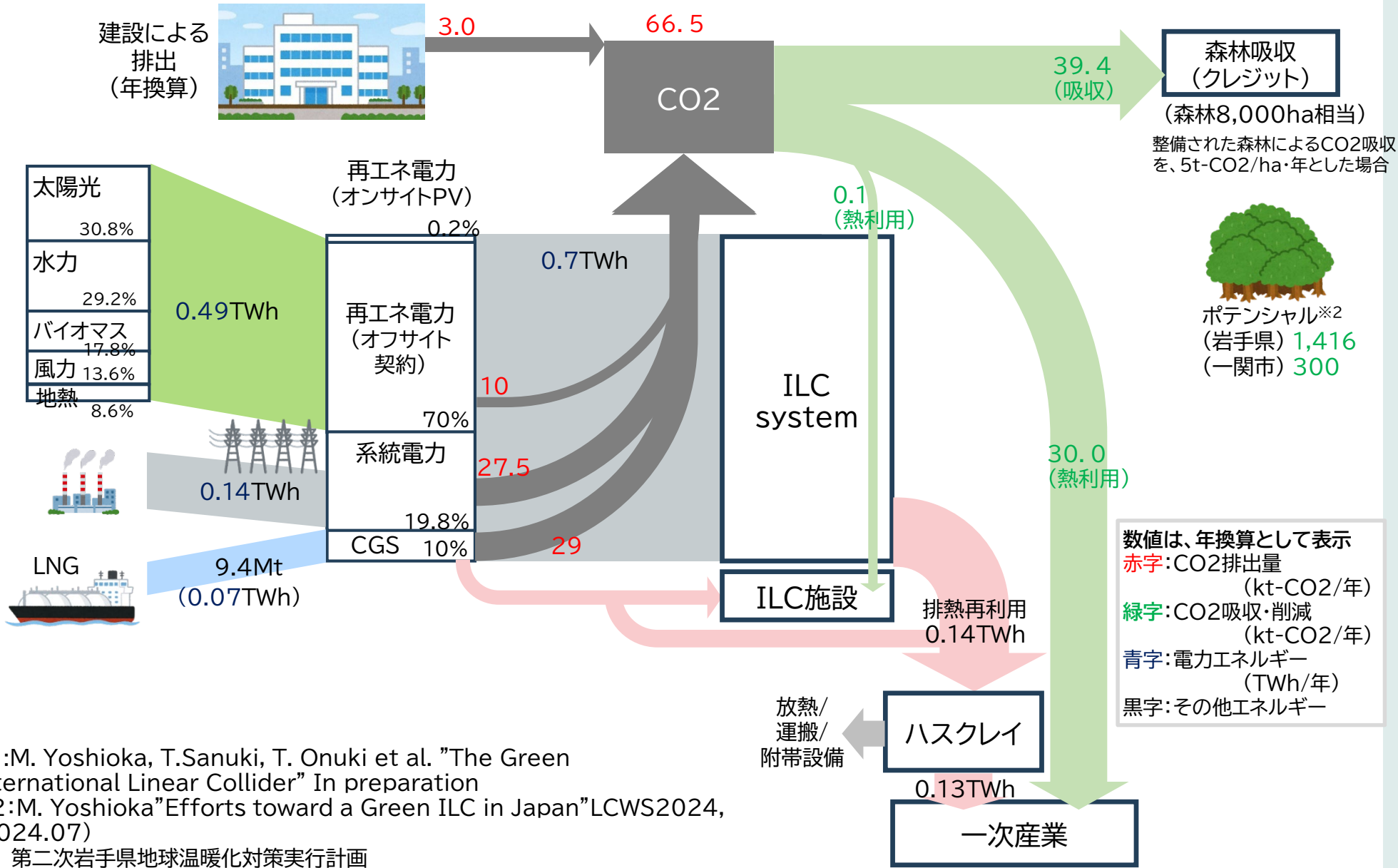
※ 建設 (UC) のCO2排出量を評価年60年として算出



Whole Life ILC-Carbon Neutralの達成

※ILCからの排熱20%をハスクレイ等のオフサイト利用したと想定。地域の農業用、居住スペースの暖房として温水利用した場合、従来化石燃料によるボイラー使用量が削減される分、CO2削減に貢献したとして試算

3-6. カーボンニュートラルの達成モデル（フローイメージ※1）数値は精査中

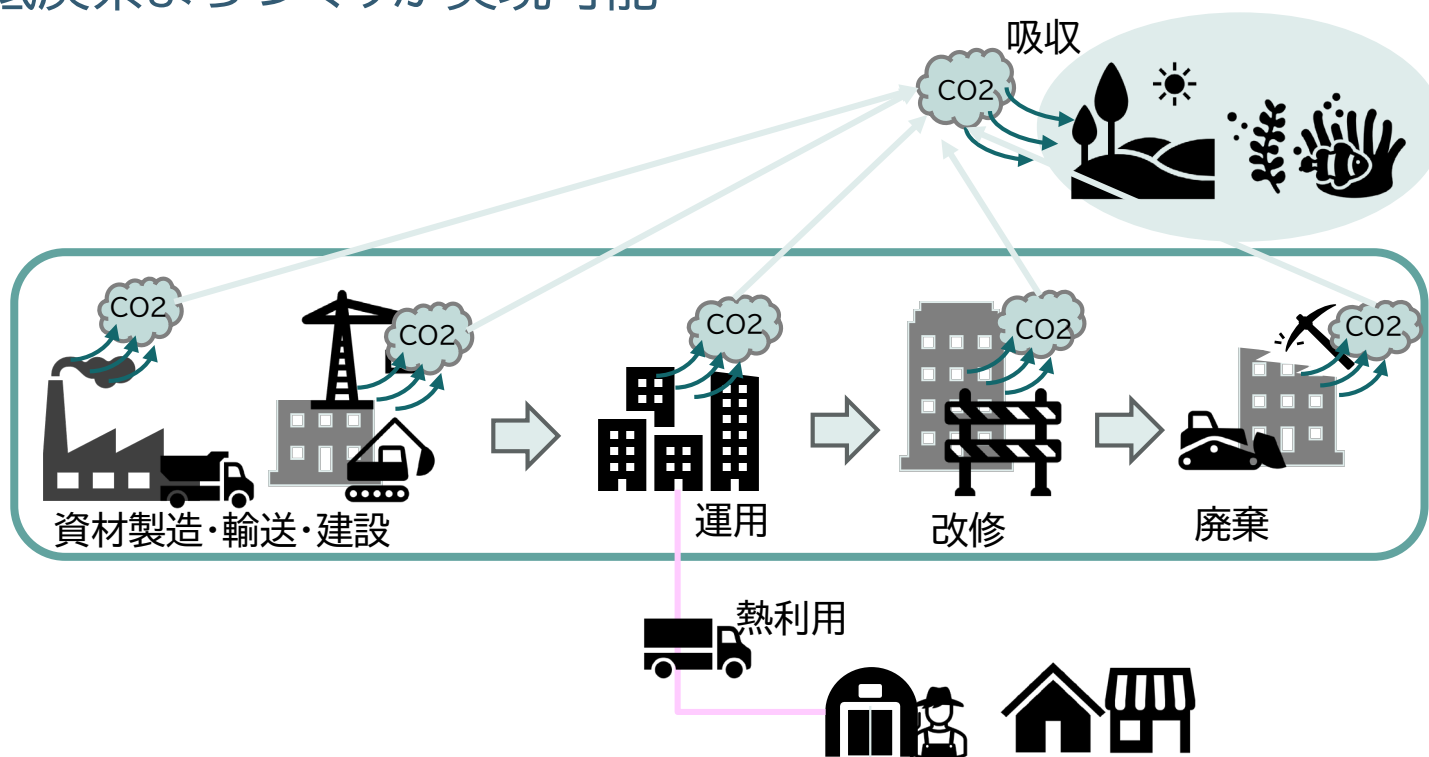


※1:M. Yoshioka, T.Sanuki, T. Onuki et al. "The Green International Linear Collider" In preparation
※2:M. Yoshioka"Efforts toward a Green ILC in Japan"LCWS2024, (2024.07)
第二次岩手県地球温暖化対策実行計画
<https://www.pref.iwate.jp/kurashikankyoku/gx/1067151.html>

まとめ

■低炭素まちづくりと社会的価値の向上

- 日本の建設関連企業が有する低炭素化技術と、地域資源(再エネ・森林吸収など)や排熱利用を地域内循環させることで、ILCのカーボンニュートラルと、低炭素まちづくりが実現可能





ご清聴ありがとうございました