

平成23年度国土技術政策総合研究所講演会

社会資本整備における 低炭素化のあり方

2011年12月1日

環境研究部長 山本 聡



内容

1. 温室効果ガス排出の現状

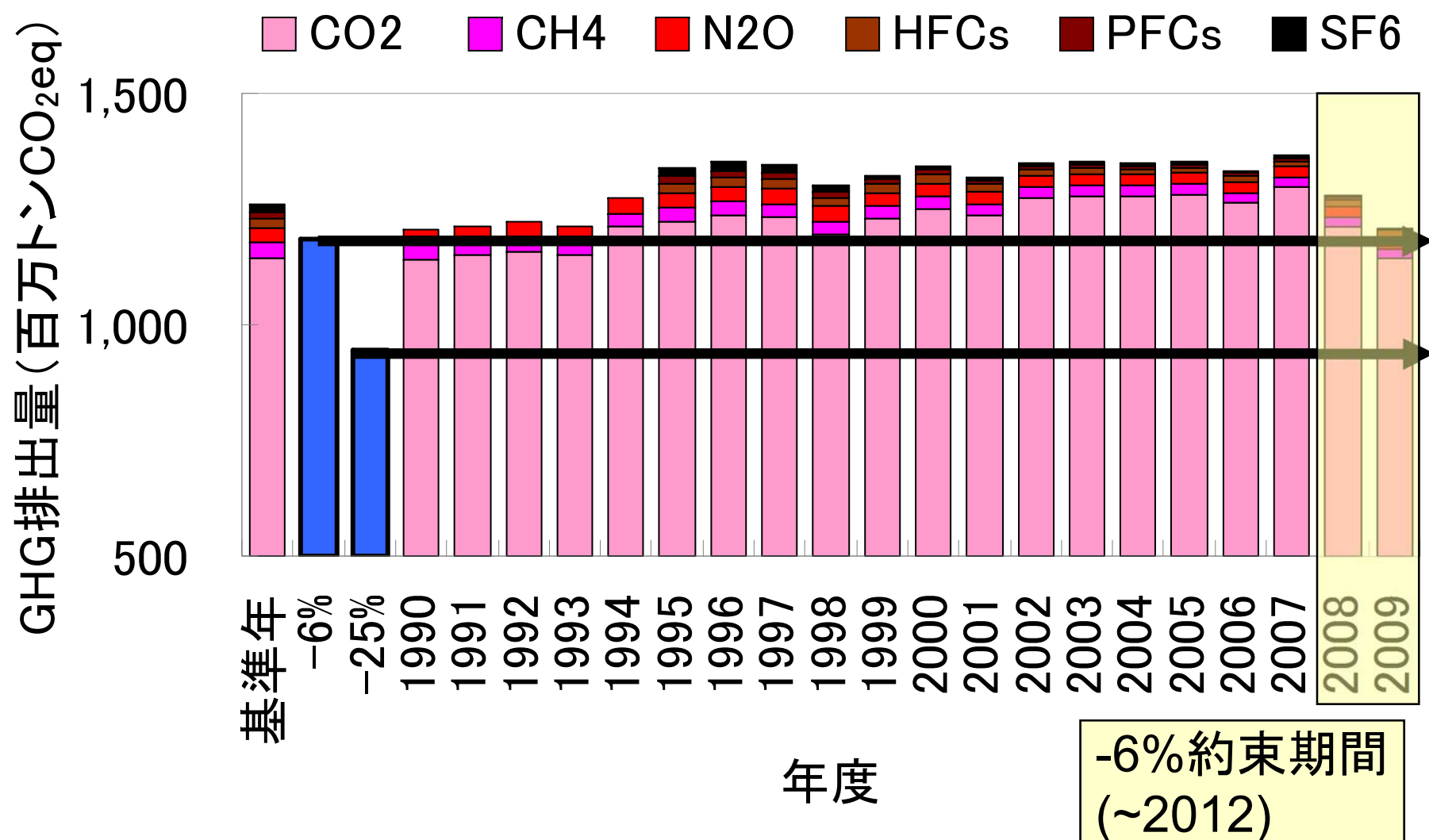
2. CO₂算定技術の開発

3. CO₂吸収に関する研究

4. おわりに

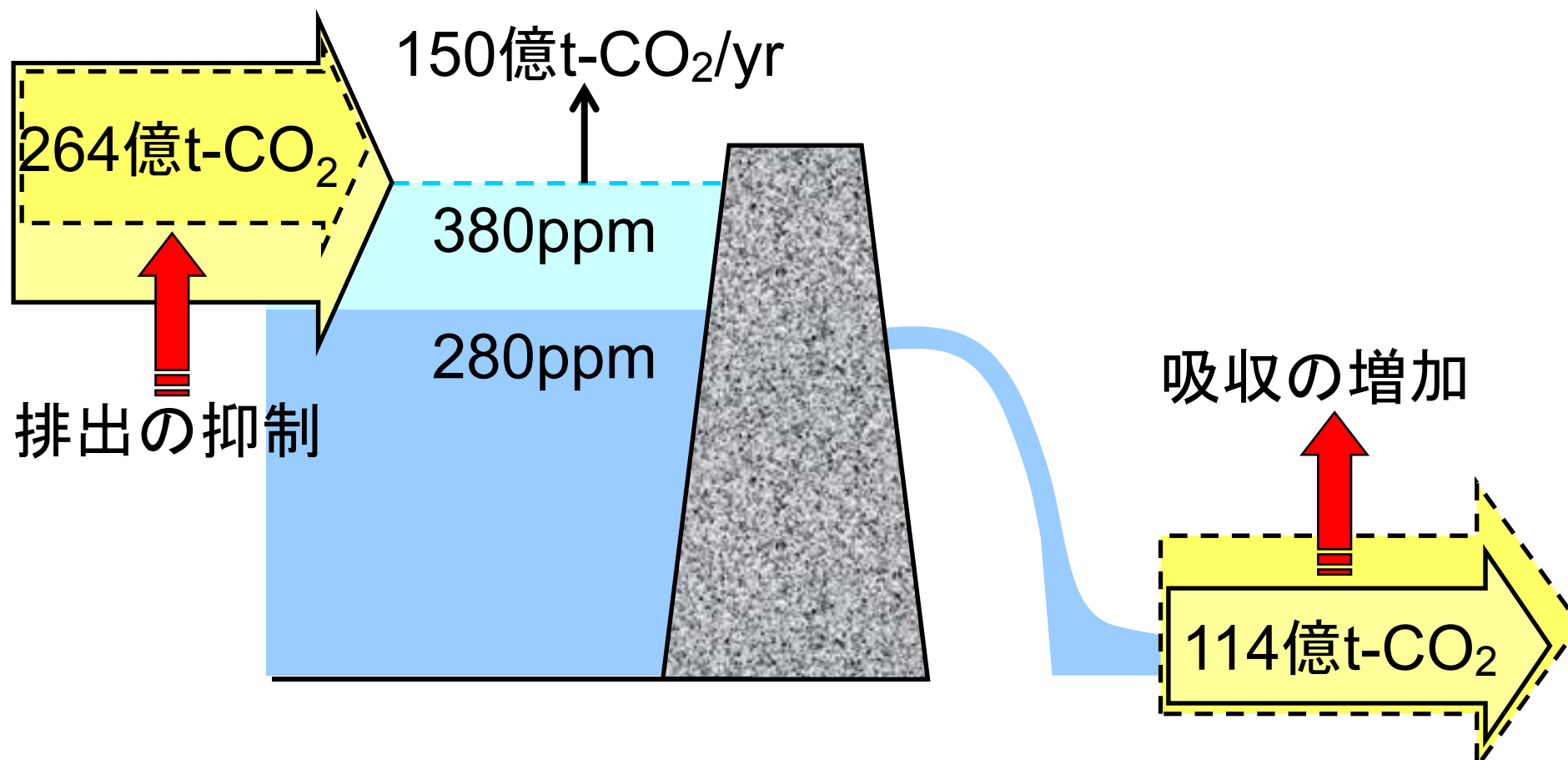
温室効果ガス排出量の推移

□ 目標の達成はまだまだ困難



CO₂濃度を適度な水準に抑え、保つ

3



現状の取組み

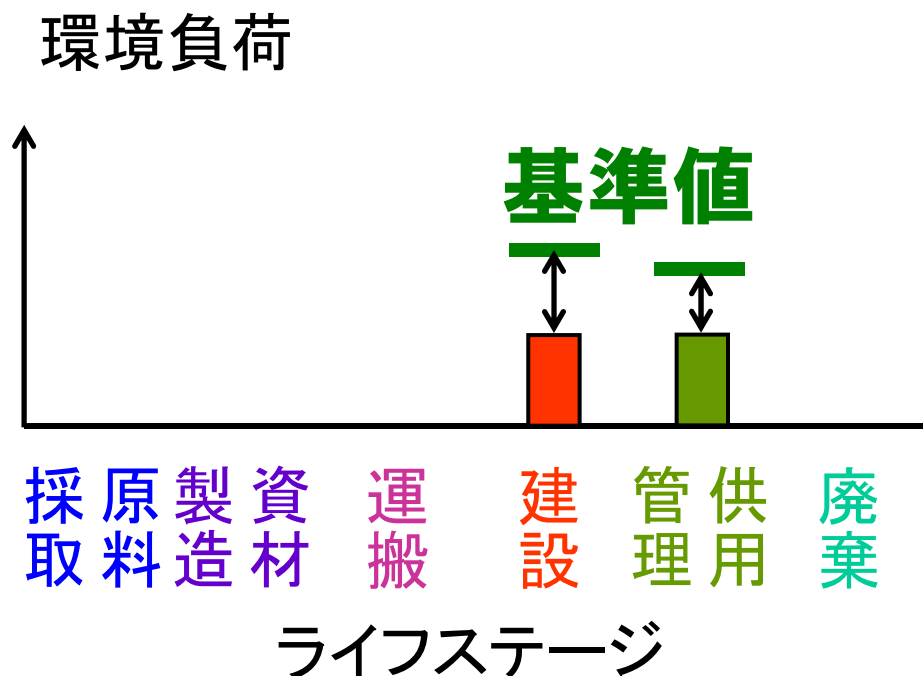
4

京都議定書目標達成計画は十分か？

	分類	メニュー	対策の内容
排出の抑制	エネルギー一起源 のCO ₂ 排出量の削減	建設施工分野における 低燃費型建設機械 の普及	低燃費型建設機械の使用を奨励し、 公共工事において積極的に活用 することにより低燃費型建設機械の普及を促進する等、建設施工分野における省CO ₂ 化を推進する。
	非エネルギー一起源 のCO ₂ 排出量の削減	混合セメント の利用の拡大	～また、グリーン購入法に基づく率先利用の推進により、 国等が行う公共工事において混合セメントの率先利用 を図る等、混合セメントの利用を促進する。
吸収	吸収作用 の保全・強化	都市緑化等 の推進	～ 都市公園の整備、道路、河川・砂防、港湾、下水処理施設 、公的賃貸住宅、官公庁施設等における緑化、建築物の屋上等の新たな緑化空間の創出を積極的に推進する。

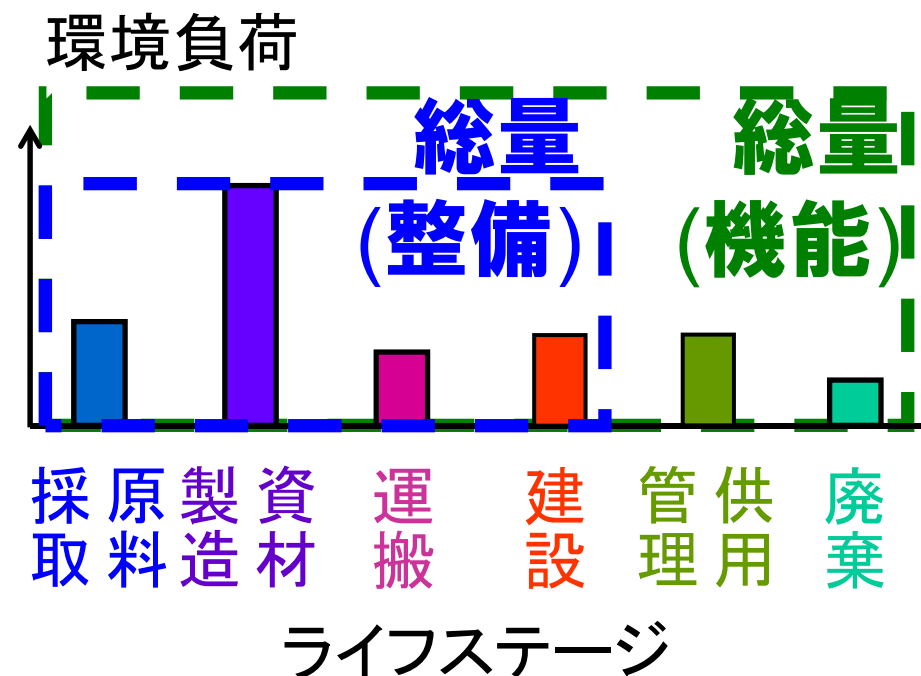
総量削減へ発想を転換

＜従来の取組み＞



建設と供用のステージ
に限定

＜地球環境問題＞

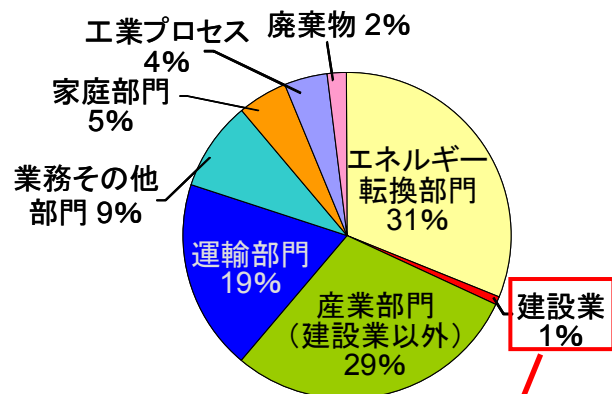


広いライフステージ
での検討

総量で見るCO₂排出量

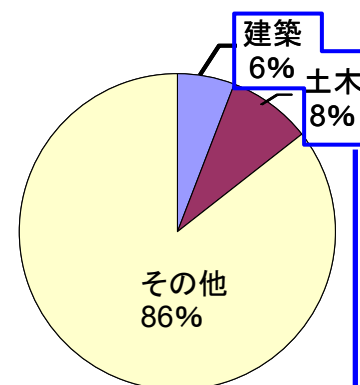
6

日本のCO₂直接排出量の部門別内訳



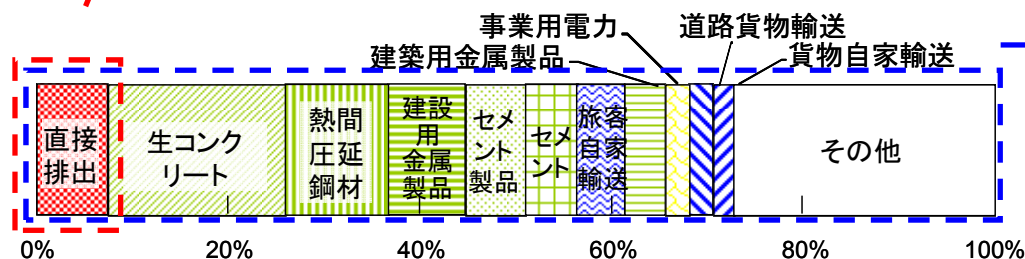
対策の対象である
直接排出はごく僅か

日本のCO₂最終需要別排出量の内訳



資材等も考慮することで社会資本
全体の削減量を明らかに出来る

＝ライフサイクルをととした評価を実施



建設部門のCO₂排出量内訳

社会資本整備でのCO₂削減の課題

- 建設（整備）と維持管理のステージに限定
- 工法、材料選定の工夫を算定する手法（原単位等）が未整備

関係者全員の自発的取組が必要→LCA

＜検討と実施の主体が違う＞

① 対策の検討

行政

例) 低燃費型建設機械の積極的な活用が可能。

所管する業の直接排出量の削減対策が中心

② 指示・支援等



③ 対策の実施

建設業者

例) 低燃費型建設機械を調達。

建設機械製造工業

例) 低燃費型建設機械を開発。

建設資材製造工業

建設コンサルタント

有効な取組み不可

＜自発的に全体最適化＞



内容

1. 温室効果ガス排出の現状

2. CO₂算定技術の開発

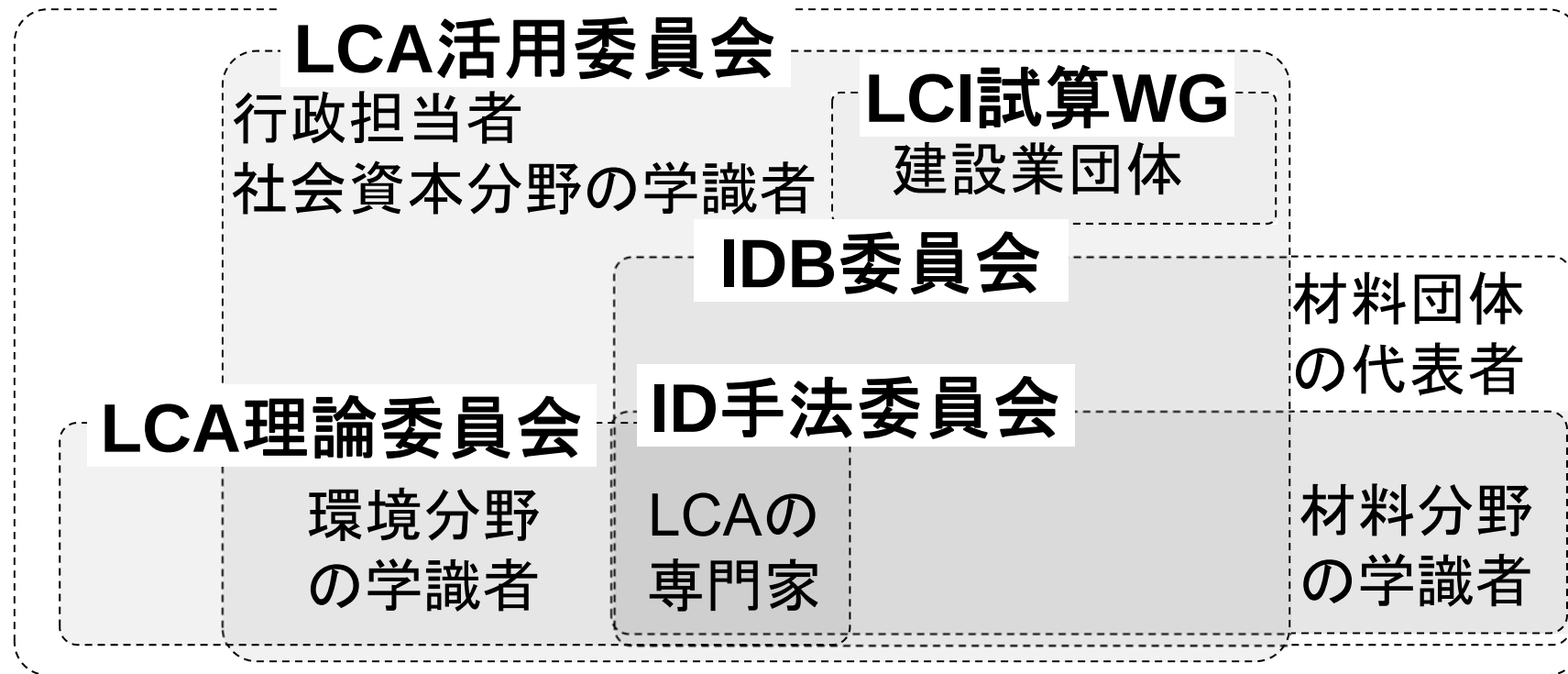
3. CO₂吸収に関する研究

4. おわりに

関係者の合意が重要

検討体制

土木学会環境システム委員会環境評価研究小委員会



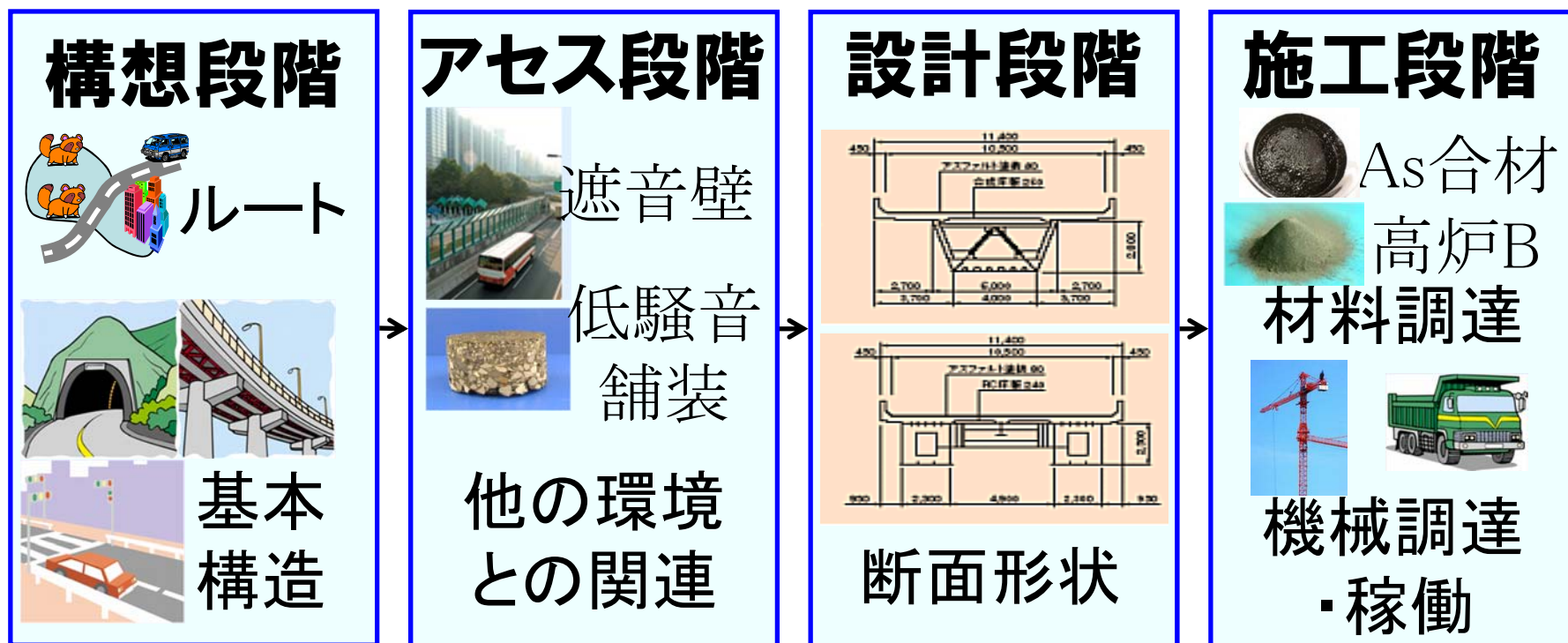
関係協会・学会
(社)日本建設業団体連合会
(社)建設コンサルタンツ協会
(社)日本コンクリート工学会、
(社)日本道路協会 等



関係研究機関
(独)土木研究所
(独)国立環境研究所 等

技術開発の目標水準

□各事業段階で使える**厳密性**と**実用性**を備える。



・全体的 → ・部分的
・概略的 → ・詳細

LCAと積算の類似性

$$CO_2 = \sum_i (x_i \times e_i)$$

x : 活動量, e : CO₂排出原単位, i : 積み上げる項目

$$COST = \sum_i (x_i \times p_i)$$

x : 数量, p : 単価, i : 同上

□本研究の対象は原料の採取から工事の施工まで

➤ 特に工事費用の積算と似ている

□社会資本整備の関係者にとって、 e の把握が困難

➤ 技術開発の中心的内容は、 e の整備

何を開発したか

整備したCO₂排出原単位の例

□様々な事業段階で使いやすいう、階層化

構造形式	原単位 kgCO ₂ /☆	工種～ 細別	原単位 kgCO ₂ /☆	資材、 建設機械	原単位 kgCO ₂ /☆
土工	946	掘削工 (軟岩)	5	普通ポルト ランドセメント	915
橋梁	12,579	A種 コンクリート工	233	早強 //	944
トンネル	4,468	(舗装) 表層工	8	中庸熱 //	929
...		...		...	

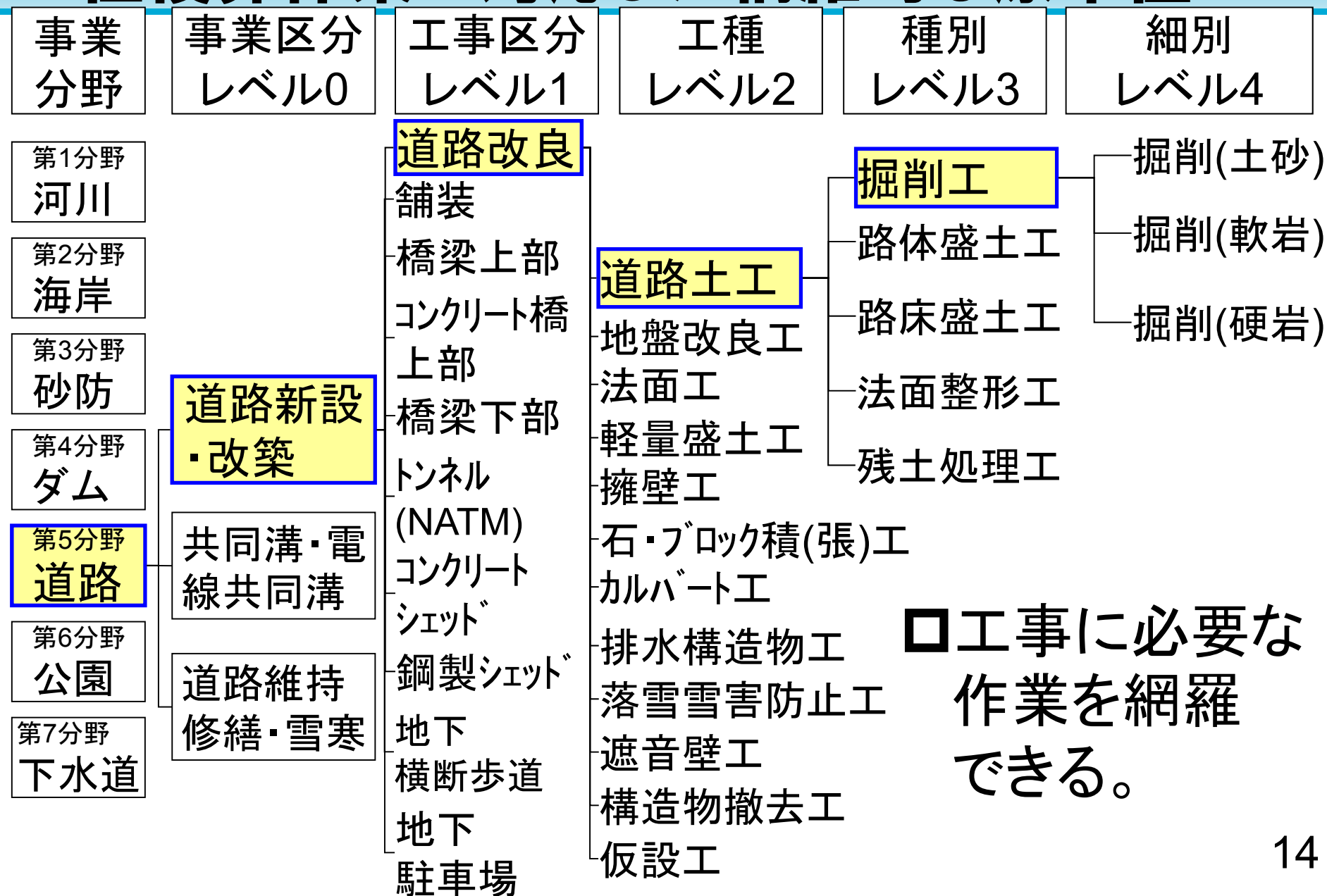
☆=km/車線 等

☆=m³、m² 等

☆=t、L、m³ 等

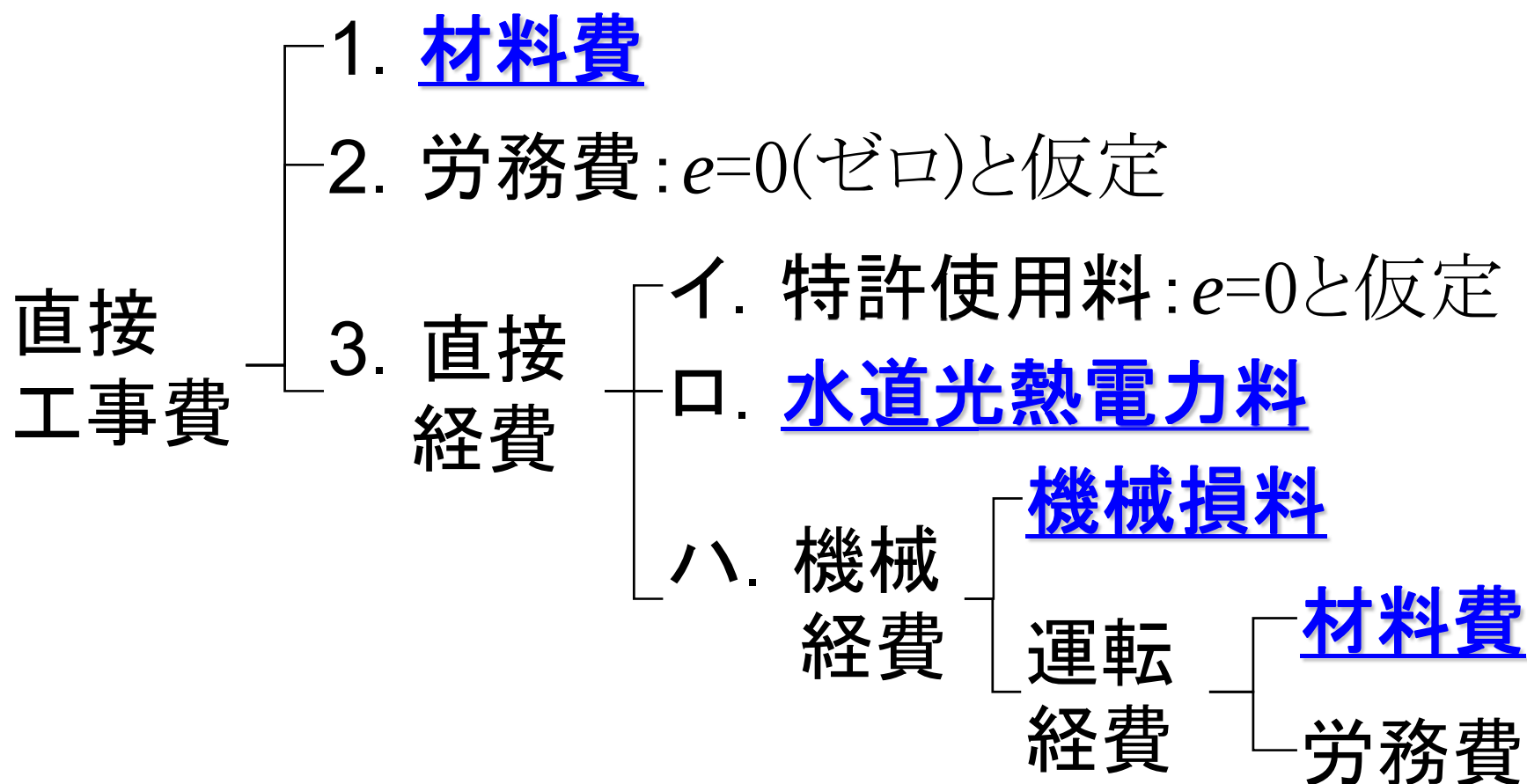
どうやって開発したか

工種積算体系に対応した網羅的な原単位



積算の網羅性はLCAに適する

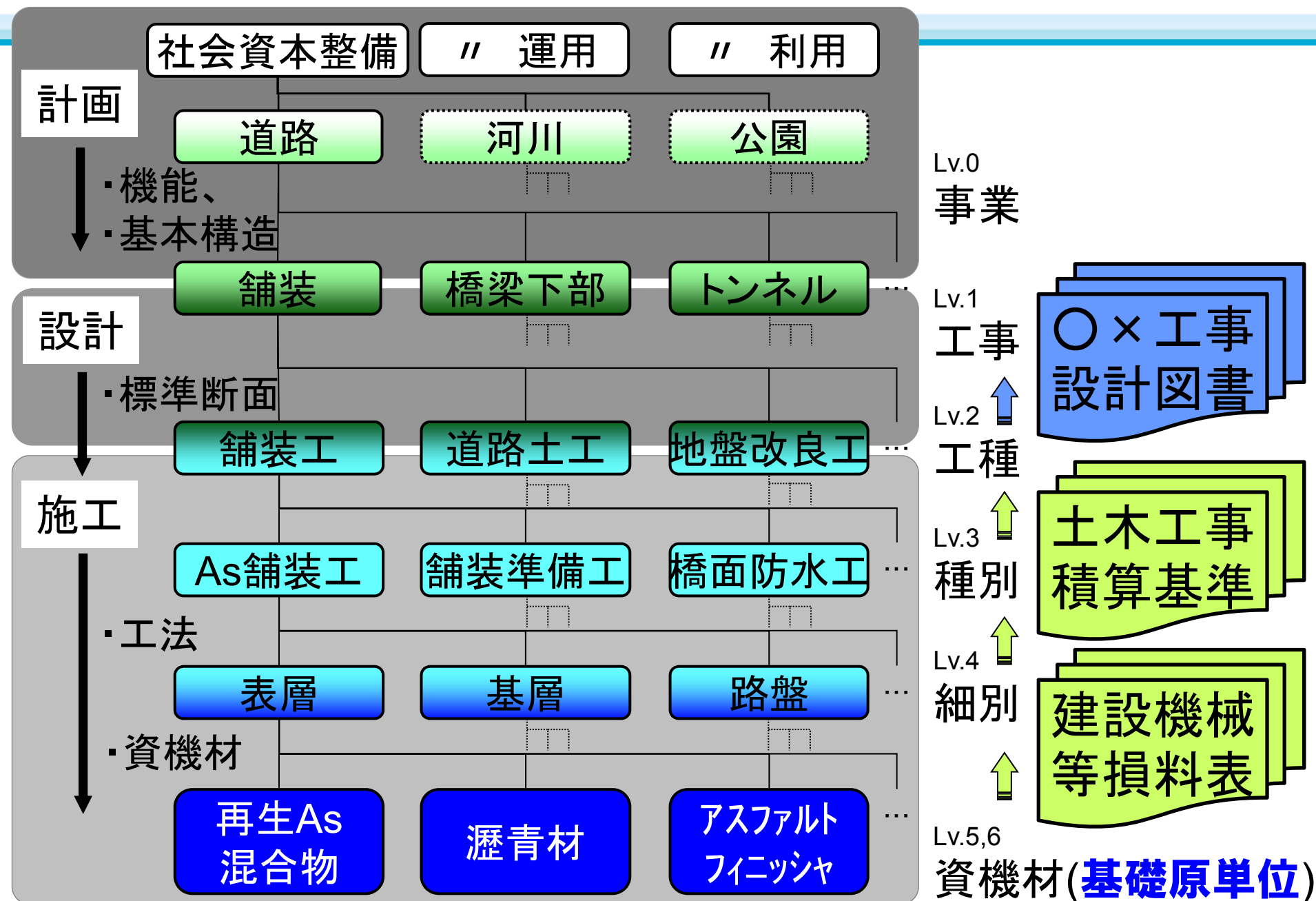
□各々の作業に必要な資本を網羅できる。



積算における費用の構成要素

どうやって開発したか 原単位の階層化の手順

16



基礎原単位 ①コンセプト

成果物

- 主要な建設資材、建設機械について、
**工事費用の積算に対応可能な区分の
全国平均値を共通の計算条件**で作成
- **現場条件**を考慮した個別の値や**新技術**の値を
全国平均値と**比較可能**にする

社会資本整備の特徴を考慮(一例)

- 建設リサイクルや各種の副産物・廃棄物の受入れによる**最終処分等のCO₂排出を控除**
- 建設現場における製品の受入形態の多様性(例:コンクリートの現場練り、現場打ち、二次製品)に対応し、**生産設備の資本減耗も考慮**

基礎原単位の開発 ②a 資材の概要

- 産業連関法と積み上げ法を組み合わせ、
互いの長所を活かした計算を実施
- 産業連関法（マクロ経済、産業別）
 - 全国平均値の算出
 - 共通の計算条件（投入産出表※の一括計算）
- 積み上げ法（個別事業）
 - 工事費用の積算に対応可能な詳細な区分
 - 現場条件や新技術の特徴を反映

※IO表

品目区分を建設向けに(一例)

19

□骨材

- 砂・砂利、碎石(新材)、再生碎石

□アスファルト合材

- 加熱As混合物、再生加熱As混合物

□セメント系材料

- セメント

→普通ポルト、早強ポルト、中庸熱ポルト、
高炉、フライアッシュ、その他

- 生コンクリート

→上記の各種セメント種類別(強度平均)
 $F_c=18, 21, 27, 30\text{MPa}$ 等

- CO₂排出量に影響が強く、公的一次統計や業界統計等によって把握できる項目は、適宜投入量を修正
- その他の項目は、計算条件の共通化のために、産業連関表の定数を付加
- その他の項目の例
 - 企業内研究開発
 - 資本減耗引当
- その他の項目がCO₂排出原単位に及ぼす影響は、十分に小さいことを確認

基礎原単位の開発 ③建設機械

機械の減耗も含めた原単位を開発

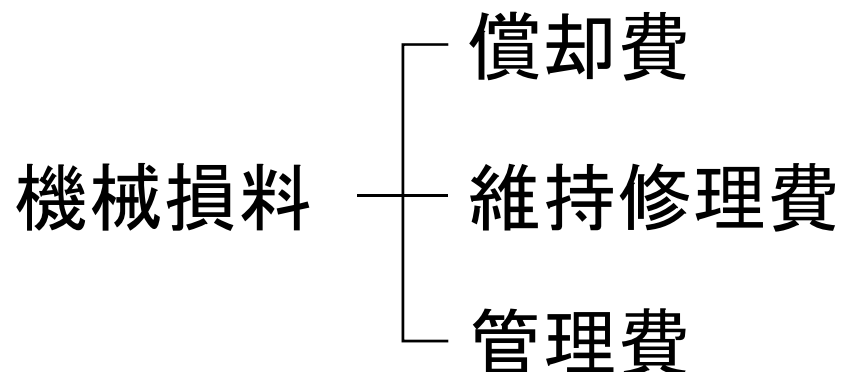
□ 建設機械の稼働

- 軽油、ガソリンの数値を使用

□ 建設機械の減耗

- 建設機械等損料表に着目
- 構成要素のCO₂排出原単位をそれぞれ設定
- 合計値を供用日当たりに換算

機械損料の構成要素



対応付けた産業連関表の部門

← 建設鉱山機械部門

← 機械修理部門

← 損害保険、不動産賃貸業、事業用電力部門

算定技術を用いた低炭素化の検討例

1. 新技術等をCO₂の側面で再評価

- 経済性、施工性、耐久性、省資源性等と低炭素化の関係把握

2. 工事全体のCO₂排出量の算定

- 効果的な低炭素化対策の検討

試算事例

対象技術	目的	技術の概要	標準技術
①製紙スラッジ灰を用いた地盤固化技術	・省資源 ・経済性	・製紙製造工程で発生するペーパースラッジ灰で製造 ・高吸水性を有し、泥土を直ちに改質	生石灰系の地盤改良材
②施工性と耐久性に優れたコンクリート	・施工性 ・耐久性	・高強度鉄筋等を併用 ・締固め作業が不要 ・水結合材比が低く耐久性に優れる	普通コンクリート (高炉B、 $F_c=24\text{MPa}$)

試算結果 -見方を変えれば、価値が変わる-

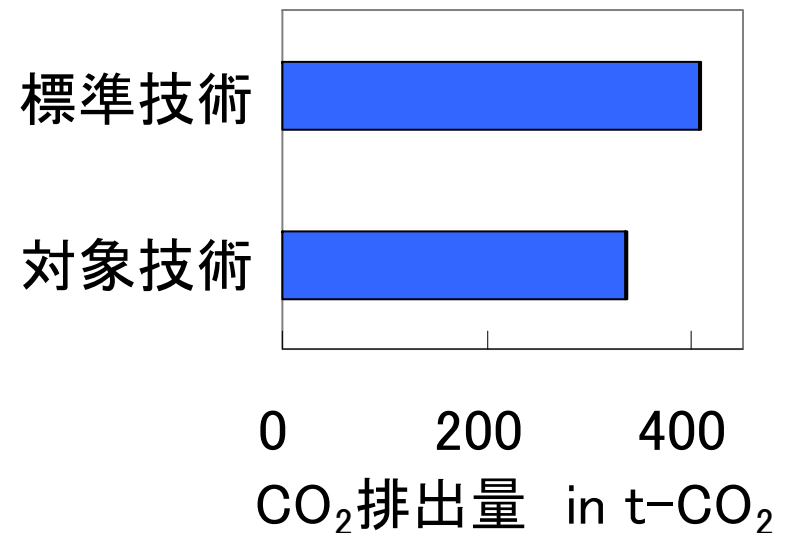
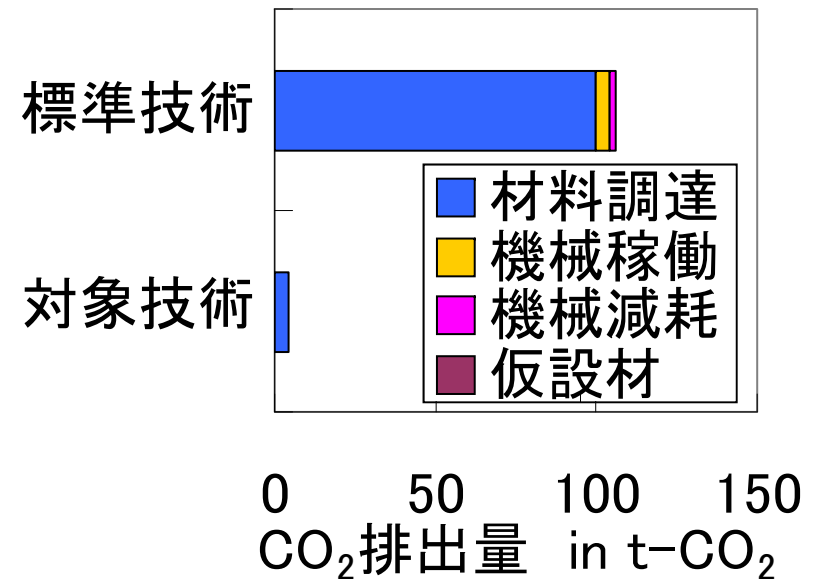
□経済性と省資源性の向上

- 生石灰系の固化材を代替し、低炭素化に貢献

□施工性と耐久性の向上

- 高強度鉄筋等を併用するものの、断面のスリム化によって材料投入量が削減され、総量では低炭素化に貢献

□CO₂排出量の削減を意図していなかった技術が、実は低炭素化に貢献する



工事全体のCO₂排出量の算定

25

- 施工技術を使うと、
工事全体のCO₂排出量はどれだけ減らせるか。

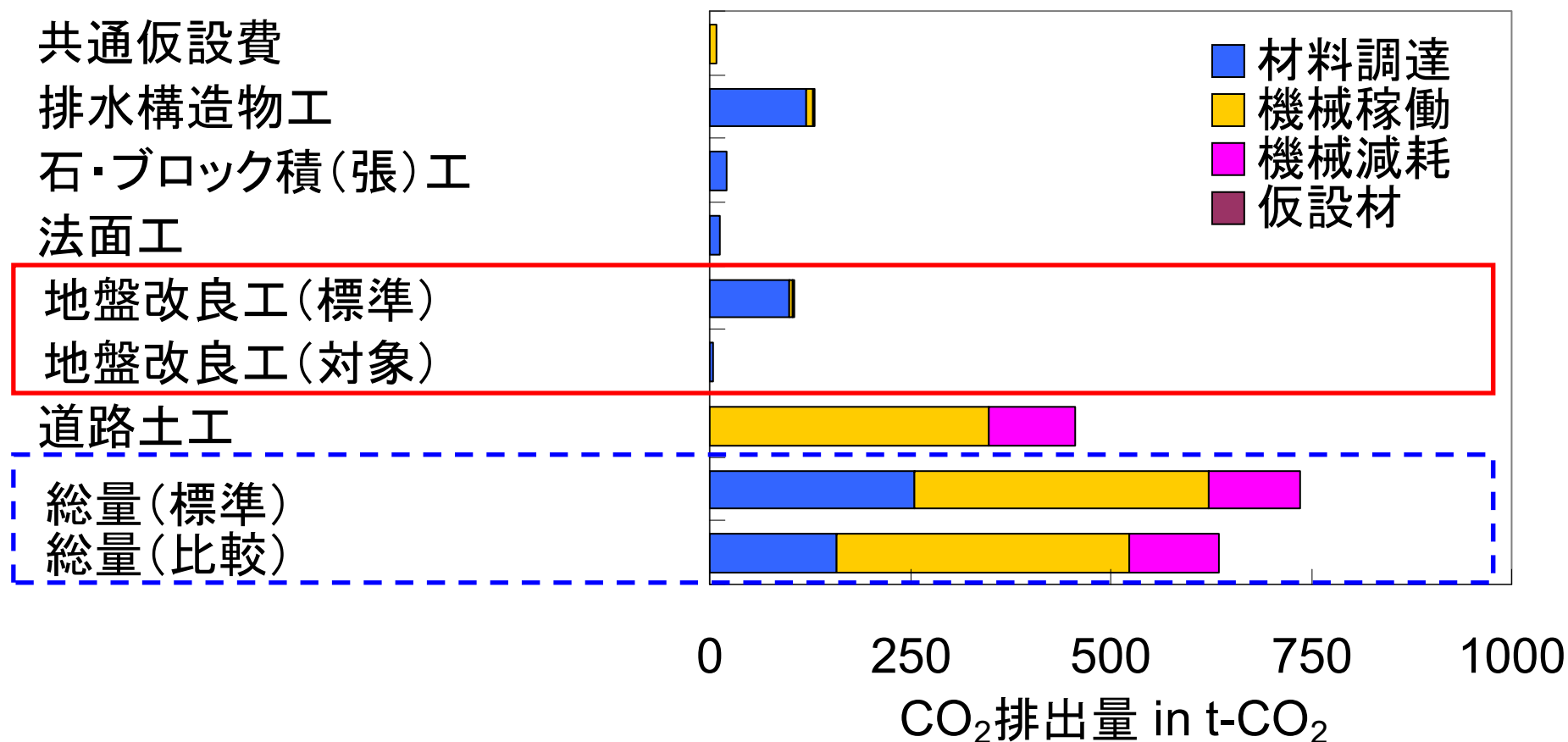


よくある盛土



土質改良

省資源性・経済性◎固化技術→道路改良工事

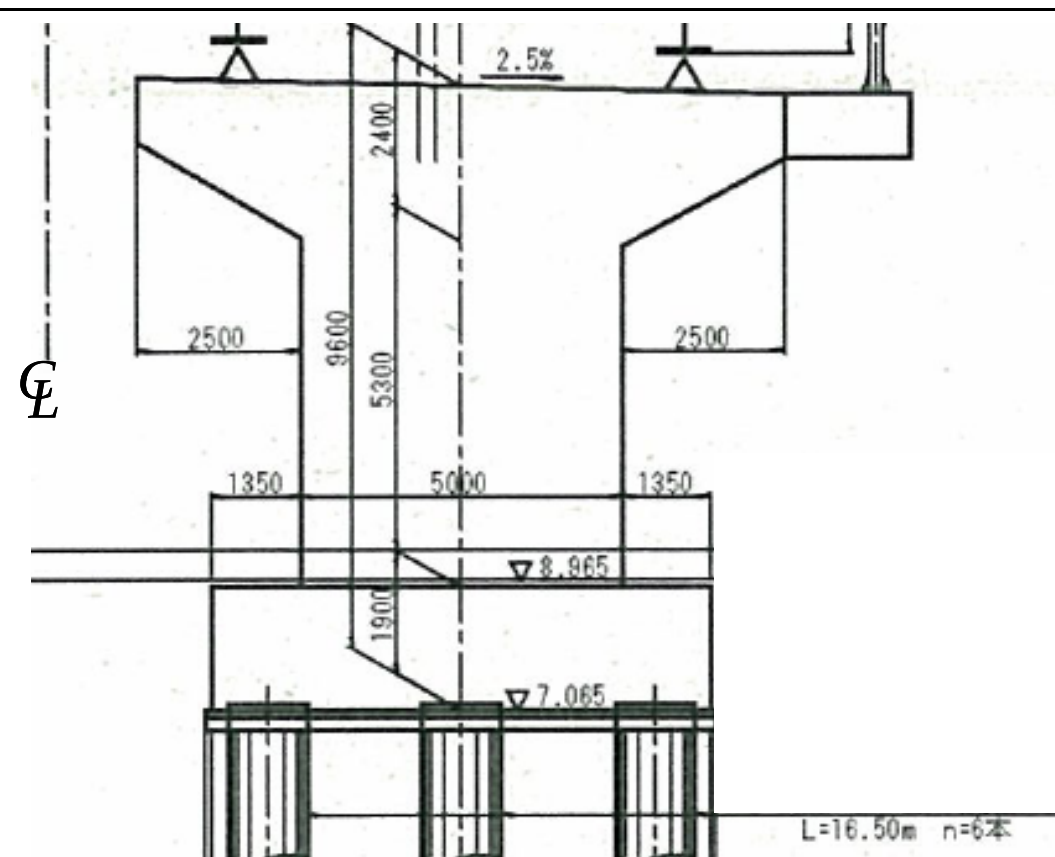


□地盤改良工で9割減 but 工事全体で1割減

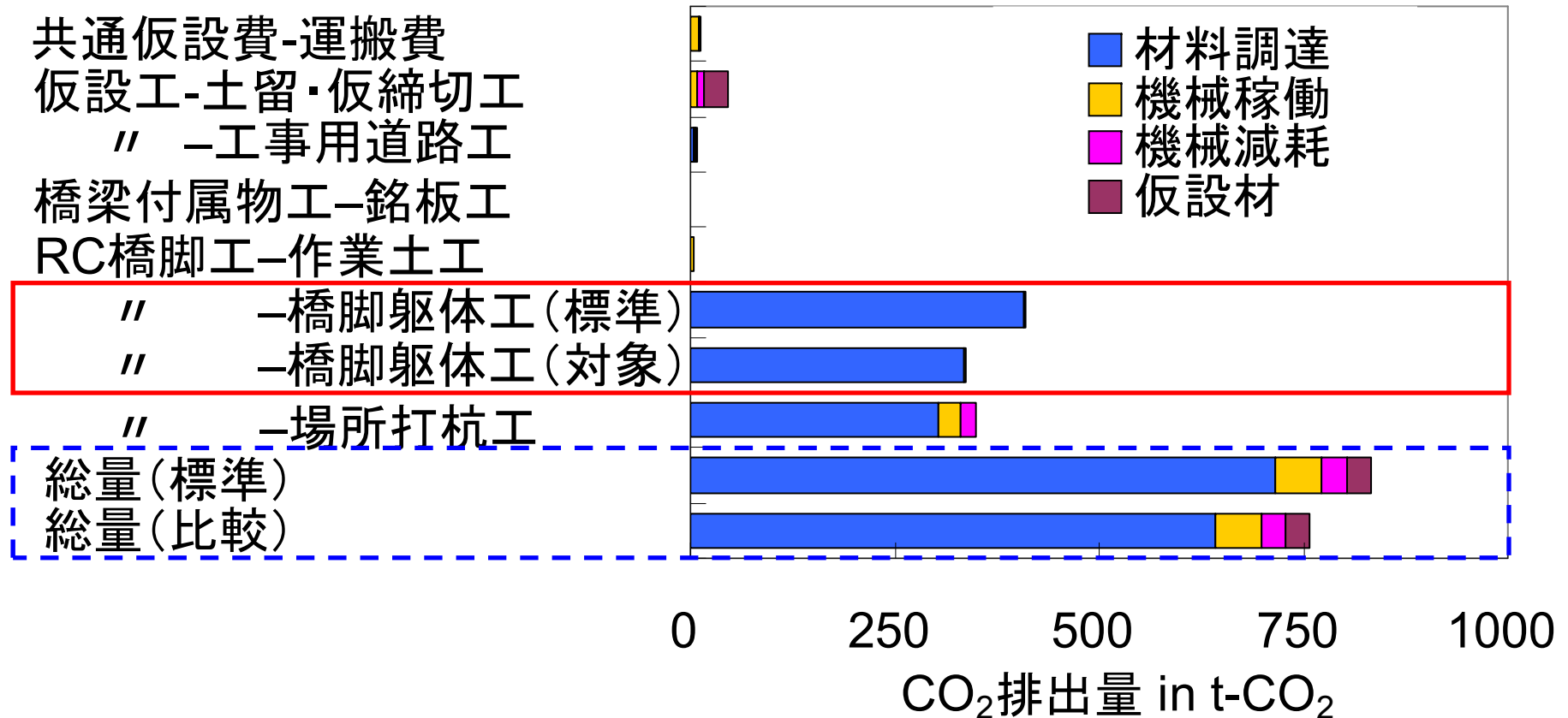
- 標準案は、道路土工の機械稼働からの排出が大
- 新技術は、地盤改良工の材料調達に効く対策

□道路土工の機械稼働の工夫の方が効果的？

施工性・耐久性◎コンクリート→橋梁下部工事

工事規模	橋長371.5m、幅員23.5m、車線数4
標準断面	 The diagram illustrates the cross-section of a bridge structure. It shows a central pier with a width of 5000mm. The bridge deck has a width of 23.5m (2500mm on each side of the pier). The total height of the structure is 9600mm. The pier height is 5300mm. The bridge deck is supported by three piers. The elevations are marked as 8.865 and 7.065. The bridge length is 371.5m, and the width is 23.5m. The number of lanes is 4. The diagram also shows a 2.5% slope and a 1900mm dimension for the pier base. The bridge is supported by three piers with a length of 16.50m and n=6.
工種(種別) (新技術適用)	RC橋脚工(場所打杭工、 橋脚躯体工 、作業土工)、橋梁付属物工、仮設工

施工性・耐久性◎コンクリート→橋梁下部工事



□橋脚躯体工で2割減 → 工事全体で1割減

- 本工事は、橋脚躯体工の**材料調達**からの排出が大
- 新技術は、橋脚躯体工に使われる**材料調達**の工夫

□工事全体のCO₂排出量を効果的に削減

内容

1. 温室効果ガス排出の現状

2. CO₂算定技術の開発

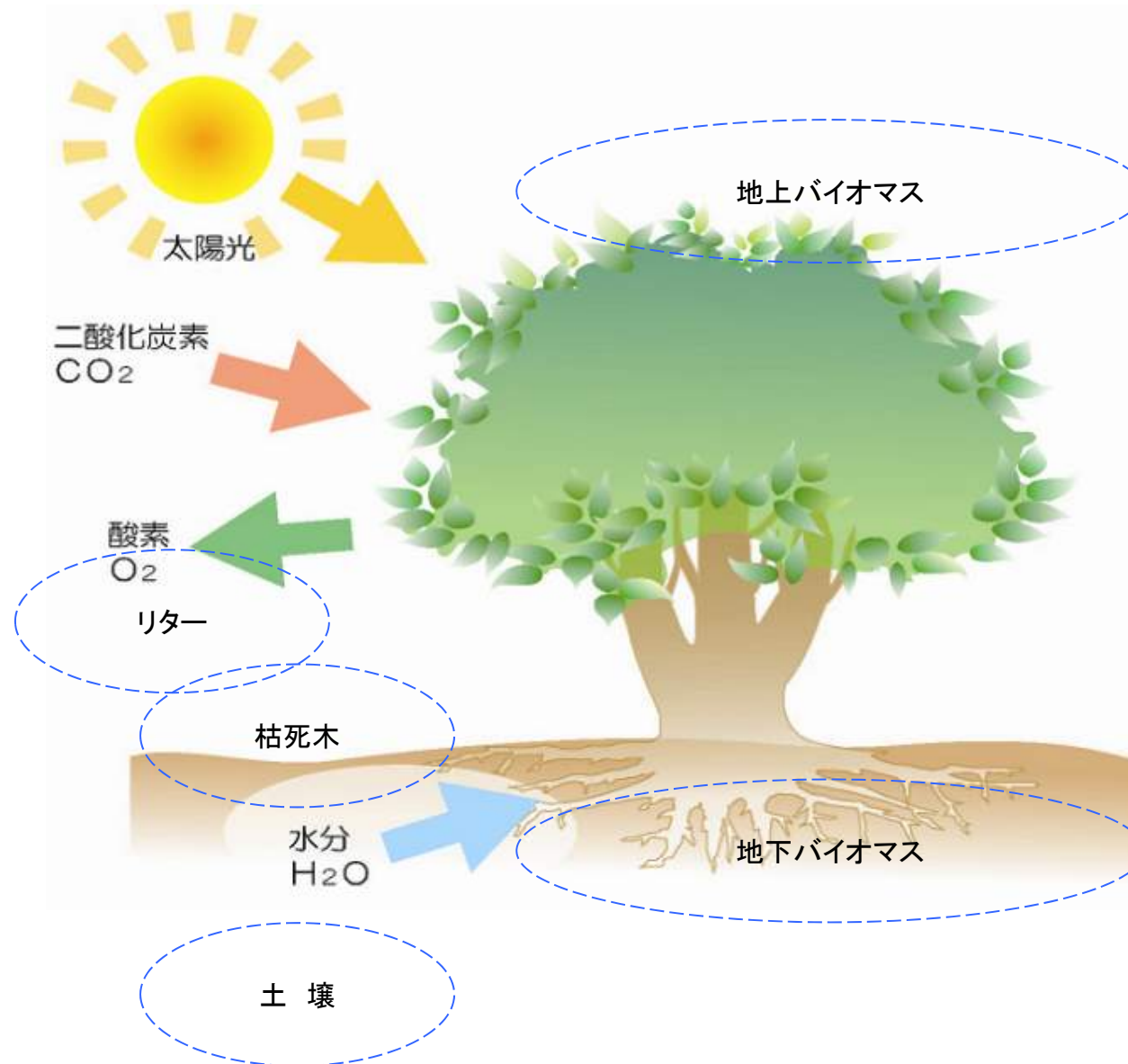
3. CO₂吸収に関する研究

- ・都市緑化によるCO₂固定
- ・コンクリート塊の再資源化によるCO₂固定

4. おわりに

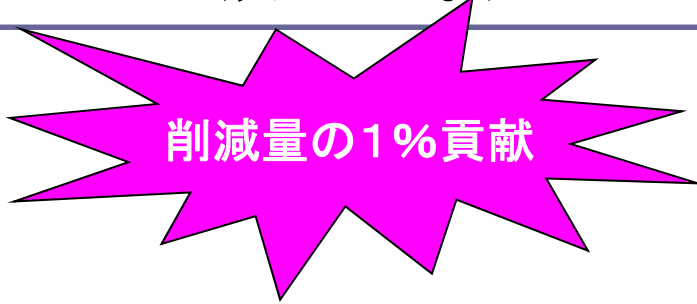
都市緑化のCO₂吸収の位置づけ

31



我が国における京都議定書上の 道路緑化の位置づけ

- ◆ 京都議定書において、我が国は第一約束期間(2008～2012年)の温室効果ガス排出量の平均を基準年(1990年)比6%削減することを約束。
- ◆ 都市公園・道路緑化等からなる都市緑化は、京都議定書第3条第4項の対象である「植生回復」に該当。
- ◆ 都市緑化等の吸収量については、第一約束期間において年平均で、対基準年総排出量比0.06%(約74万t－CO₂吸収量)が確保されると推計。
(平成19年度末では約68万t－CO₂吸収量。)



削減量の1%貢献

CO₂固定量の算定方法

- CO₂固定量の算定対象は、木質化することで長期間固定が継続する幹・枝・根（木質部）
- 木質部の炭素（C）含有量は、樹種に関わらず木質部乾燥重量の50%程度

- ①：各樹木の「生重」を抜倒、掘り取りにより計測し、
- ②：この一部をからサンプルを取り乾燥させて部位ごとの「生乾重比」を求めて、
- ③：①で求めた「生重」を用いて「乾重」を算出

- CO₂とCの分子量の比は $44/12=3.67$

$$\begin{aligned}\text{CO}_2\text{固定量} &= \text{木質部乾重} \times 0.5 \times 3.67 \\ &= \text{木質部乾重} \times 1.83\end{aligned}$$

伐倒



根の掘取



幹と枝の分離



枝と葉の分離



重量計測
(幹)



(枝)



(根)



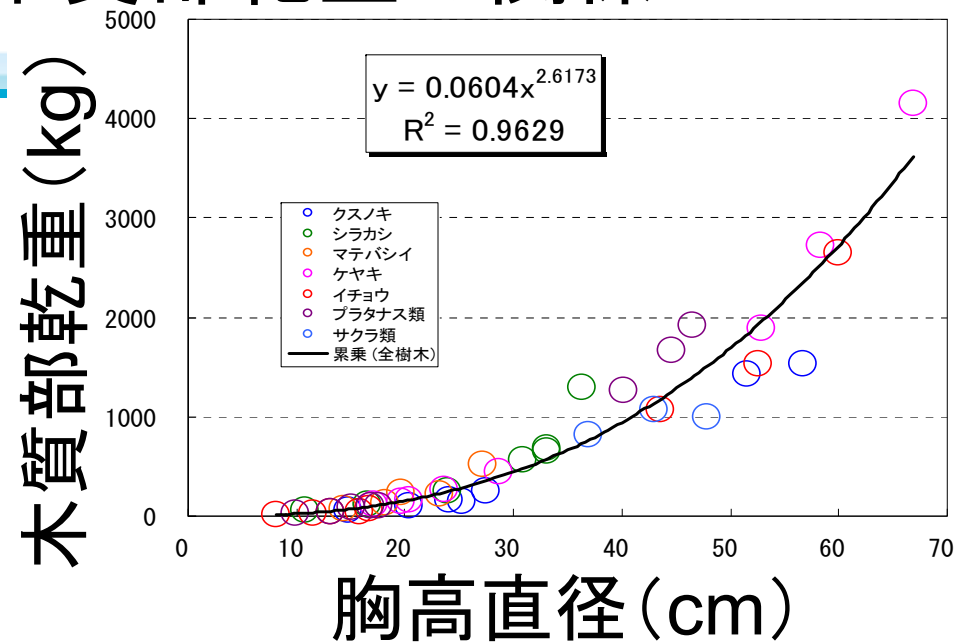
サンプルの
生重計測伐倒



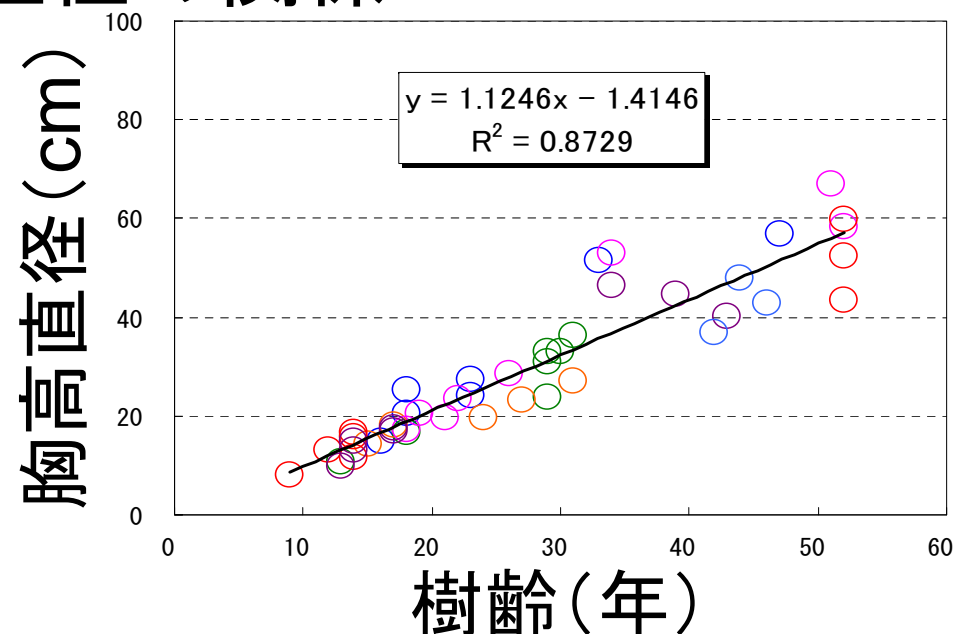
サンプルの乾燥



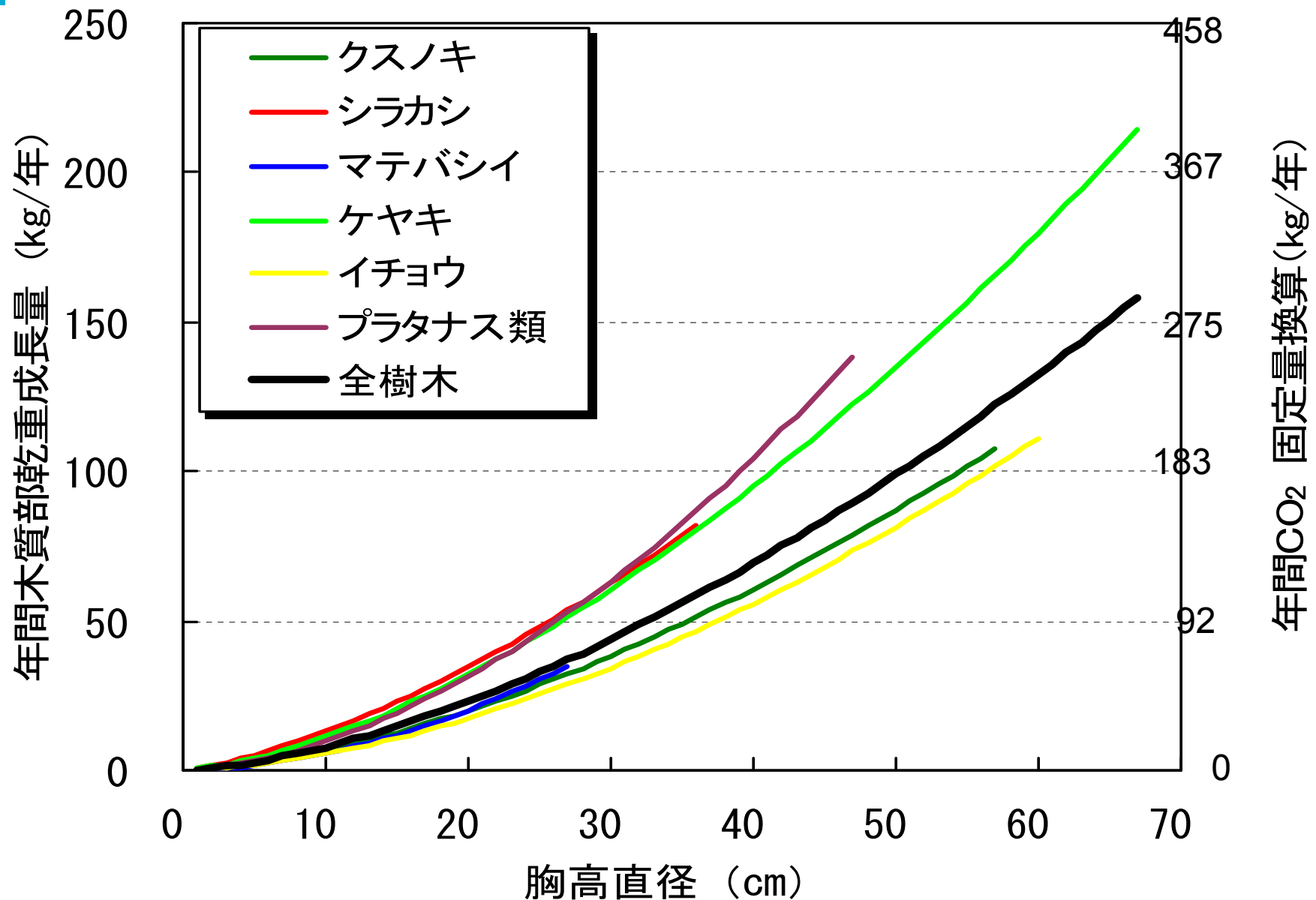
胸高直径と木質部乾重の関係



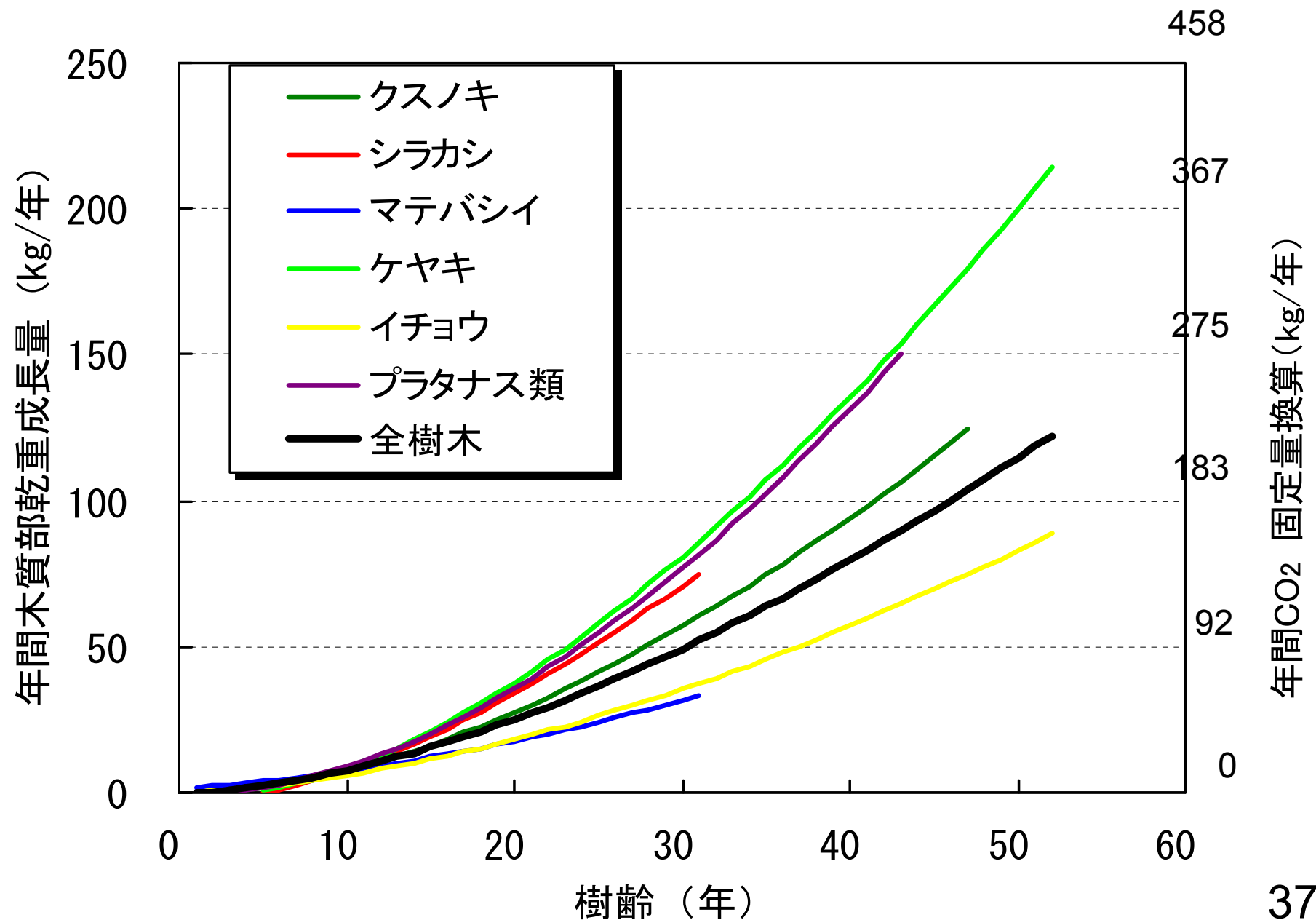
樹齢と胸高直径の関係



年間CO₂固定量予測式(胸高直径 × 年間固定量)



年間CO₂固定量予測式(樹齢×年間固定量)



年間CO₂固定量を計算してみましょう！

年間CO₂固定量算定式を使って、身近な樹木が1年間に固定しているCO₂の量を測定してみましょう！

調べたい樹木の地面から1.2mの位置の直径(胸高直径), または樹齢を入力し, 計算ボタンをクリックしてください。

全樹木

(クスノキ, シラカシ, マテバシイ, ケヤキ, イチョウ, プラタナス類, サクラ類のデータを用いて式を算出しました。)

胸高直径

cm

計算

年間CO₂固定量

Kg/年

樹齢

年

計算

年間CO₂固定量

Kg/年

今回の算定式の作成に用いた樹木の範囲 胸高直径: 9~66cm 樹齢: 9~52年

各樹種ごとの年間CO₂固定量を調べたい場合はこちらをクリックしてください。

各樹種ごとの
年間CO₂固定量

<http://www.nilim.go.jp/lab/ddg/naiyo/co2/co2.html>

内容

1. 温室効果ガス排出の現状

2. CO₂算定技術の開発

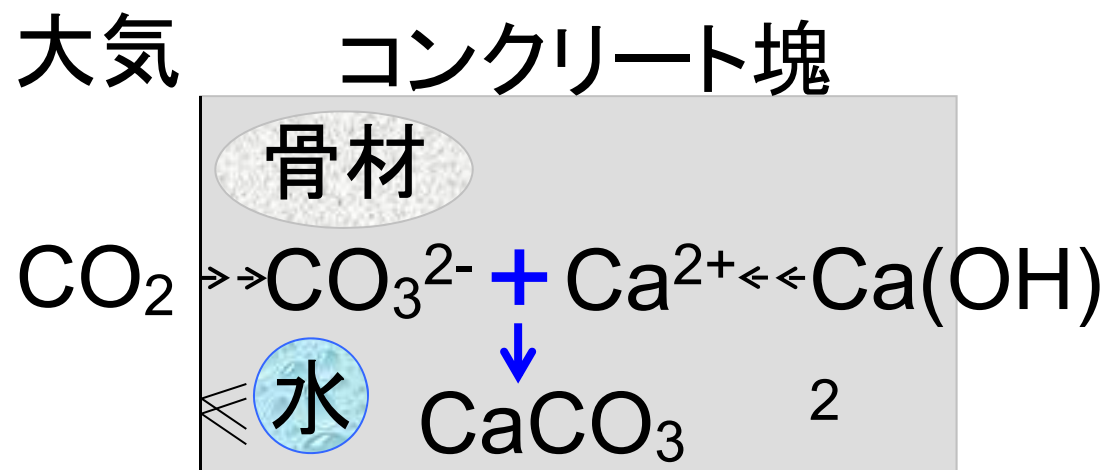
3. CO₂吸収に関する研究

- ・都市緑化によるCO₂固定
- ・コンクリート塊の再資源化によるCO₂固定

4. おわりに

コンクリートによるCO₂固定

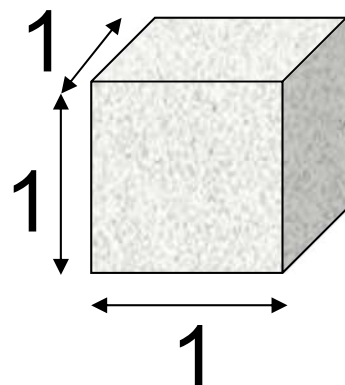
□pHの高い水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)等が、CO₂を固定



再資源化とCO₂固定

□表面から進行するため、コンクリート塊の破砕
によって固定速度が上昇

コンクリート塊

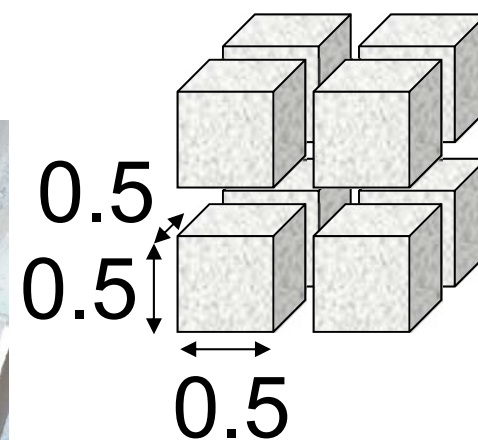


表面積: 6

8分割
(破砕を模式)



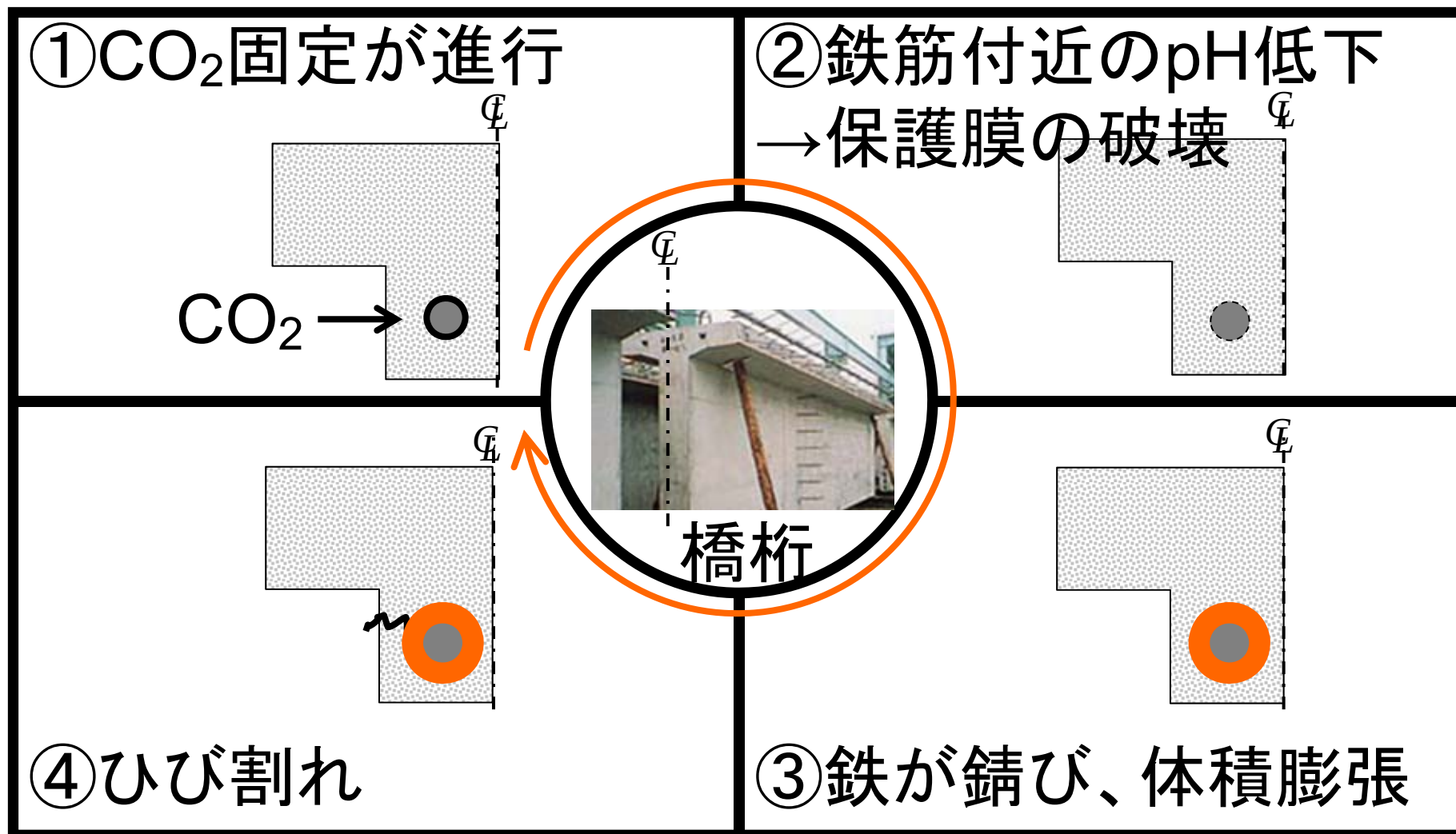
再生碎石



表面積: 12

2倍の固定能力

現状の取扱い=CO₂固定はRC構造物の敵



□再資源化後の再生砕石は、路盤材等に用いられるため、鉄筋の腐食の問題は生じない。

全国調査の方法 ①試料採取

□全国45都道府県の46の中間処理工場で
破碎直後の再生砕石を採取



全国調査の方法 ②試料縮分

- 均質性を保ちながら必要量まで縮分
- 大気との接触を断って速やかに実験室に送付



全国調査の方法 ③CO₂固定の促進

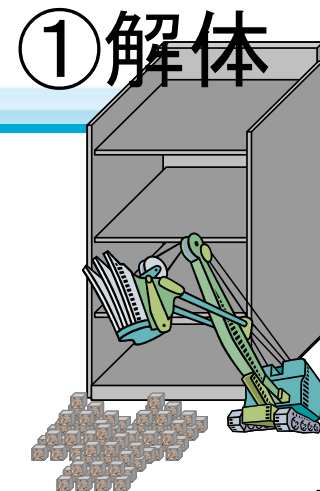
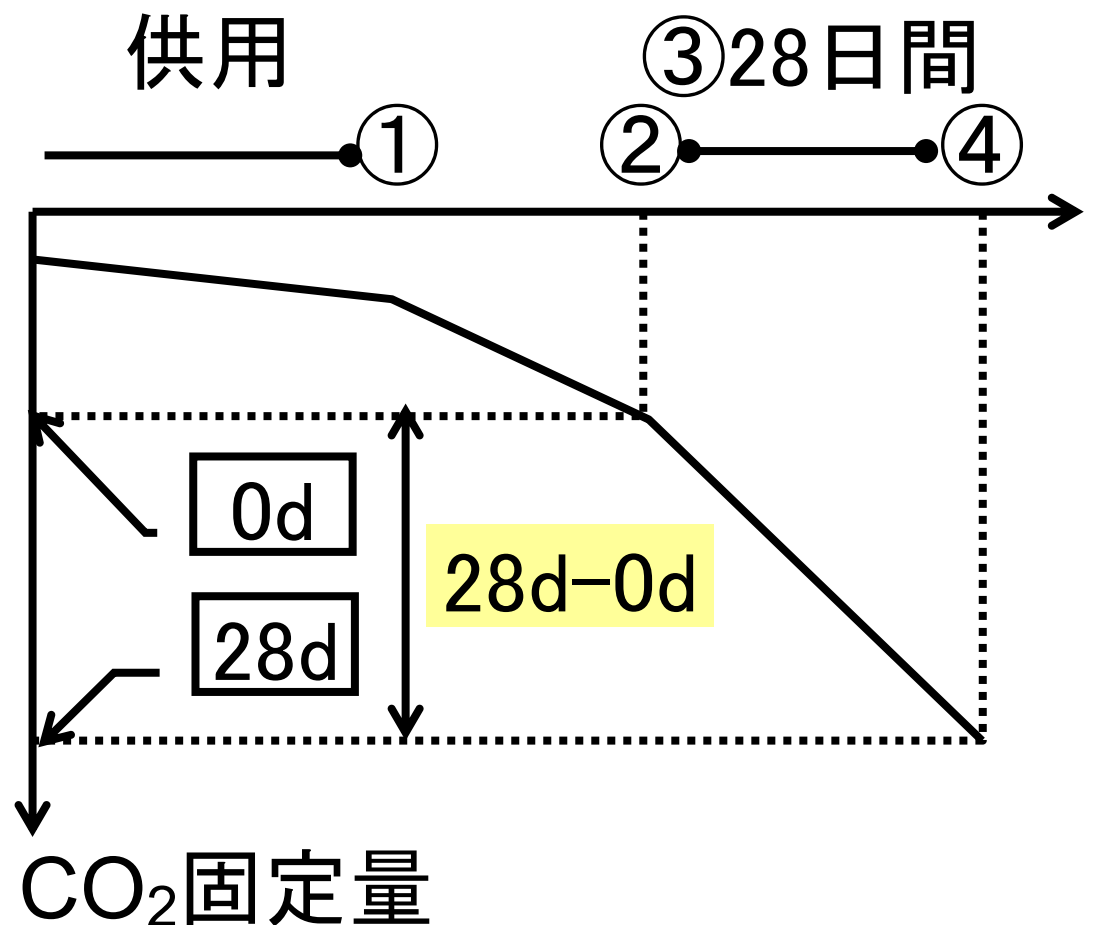
□破碎後の保管環境に類似の実験室で、
大気曝露を実施。→保管中のCO₂固定を再現



- ・室温・・・約20度
- ・湿度・・・40～70%
- ・CO₂濃度・・・400ppm前後
- ・曝露期間・・・28日間
(保管期間に関するアンケートに基づく)
- ・散水・・・一週間に2度
(国内の平均降雨頻度に基づく)

全国調査の方法

④「再資源化による」 CO₂固定量の定義



↓運搬

②破碎 ... 0d



③保管(28日間)

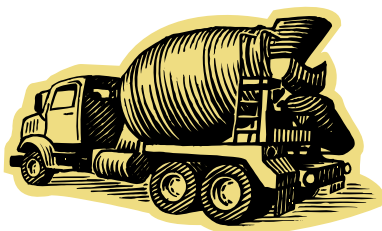
④出荷 ... 28d



全国調査の結果

□再資源化によるCO₂固定量は、8.5kg-CO₂/t

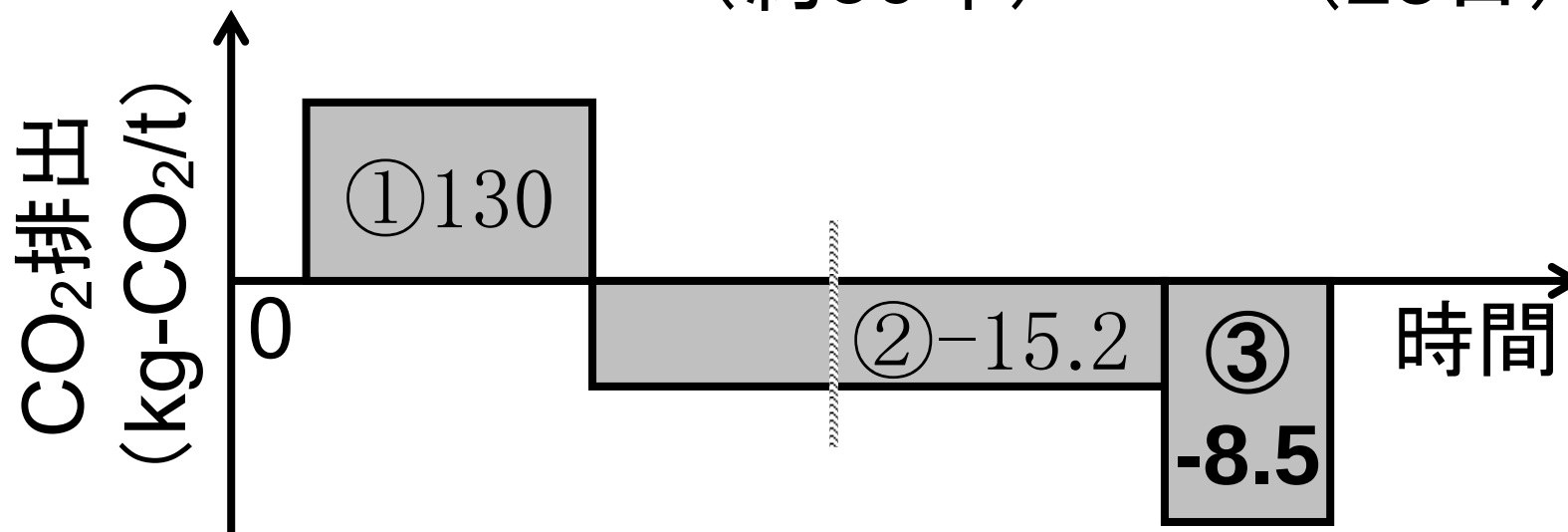
□コンクリート塊の再資源化で年間26万トン固定



①原料採取～施工

②供用～解体
(約30年)

③再資源化
(28日)



内容

1. 温室効果ガス排出の現状

2. CO₂算定技術の開発

3. CO₂吸収に関する研究

4. おわりに

□CO₂排出量の評価技術で何ができるか

●CO₂排出量の削減技術の掘り起し

「見方を変えれば価値が変わる」

➤グリーン購入法の特定調達品目の評価基準等にご利用可能

●工事全体のCO₂排出量の把握

➤環境影響評価等における構造物のCO₂排出量の予測・評価

●CO₂排出のセクター等の内訳の把握

➤舗装等の性能評価指針

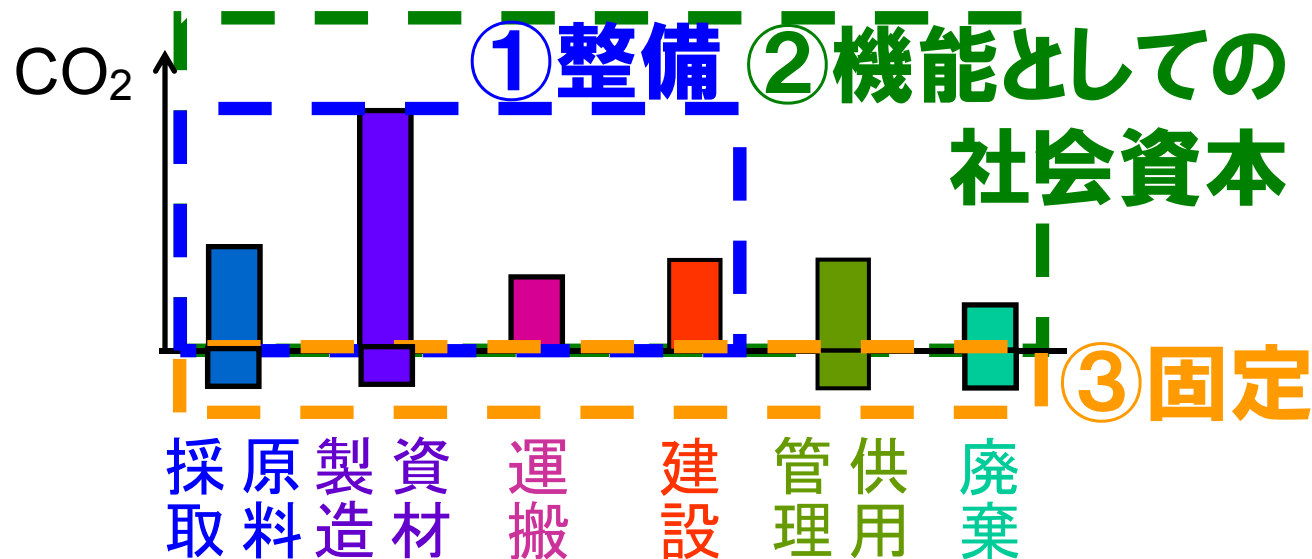
□吸収作用に関する研究の想定アウトカム

●都市緑化

- ✓IPCCへのCO₂固定量の報告値の精緻化
- ✓都市緑化の選定指針

●コンクリートの再資源化

- ✓温室効果ガス国家インベントリへの反映
- ✓低炭素社会と循環型社会の両立に寄与する建設リサイクルの促進・発展



- ① CO₂削減の評価
(トレードオフ関係にある指標の統合化)
例: CO₂排出量の削減効果の貨幣換算
- ② 供用時を含めたCO₂排出量の算定技術
例: 渋滞解消によるCO₂排出量の削減
- ③ 算定技術の精緻化、固定量増大の工夫