

オンライン記者会見
2021年4月19日（月） 9:30～10:00

世界初！ CO₂を原料とする 完全リサイクル可能な カーボンニュートラルコンクリート の基礎的製造技術を開発

野口貴文（東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻）

丸山一平（東京大学 大学院工学系研究科 建築学専攻）



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



北海道大学
HOKKAIDO UNIVERSITY



東京理科大学
TOKYO UNIVERSITY OF SCIENCE



工学院大学
KOGAKUIN UNIVERSITY



宇都宮大学
UTSUNOMIYA UNIVERSITY

SHIMIZU CORPORATION
清水建設



太平洋セメント



MASUO



MOONSHOT
RESEARCH & DEVELOPMENT PROGRAM

NEDOムーンショット型研究開発事業・採択プロジェクト

C⁴S*研究開発プロジェクト

*Calcium Carbonate Circulation System for Construction



野口貴文（東京大学）
北垣亮馬（北海道大学）
田村雅紀（工学院大学）
辻埜真人（清水建設）
兵頭彦次（太平洋セメント）

丸山一平（東京大学）
兼松 学（東京理科大学）
藤本郷史（宇都宮大学）
平尾 宙（太平洋セメント）
増尾孝義（増尾リサイクル）



SHIMIZU CORPORATION
清水建設



☐ NEDOムーンショット型研究開発

ムーンショット

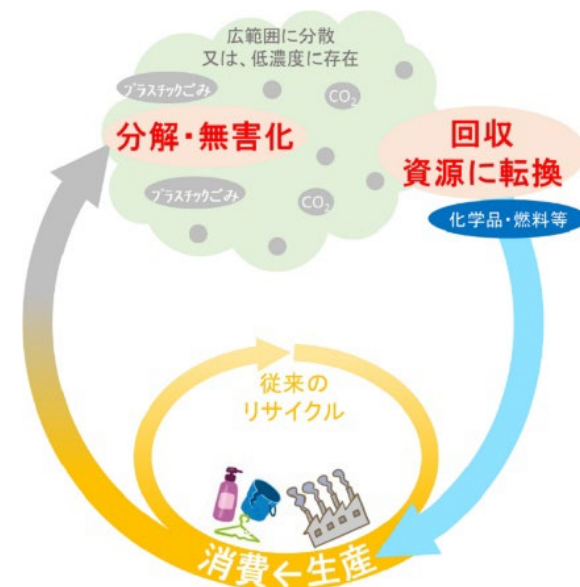
我が国発の破壊的イノベーションの創出を目指し、従来技術の延長にない、より大胆な発想に基づく挑戦的な研究開発

ムーンショット目標4

「2050年までに、地球環境再生に向けた持続可能な資源循環を実現」

ターゲット

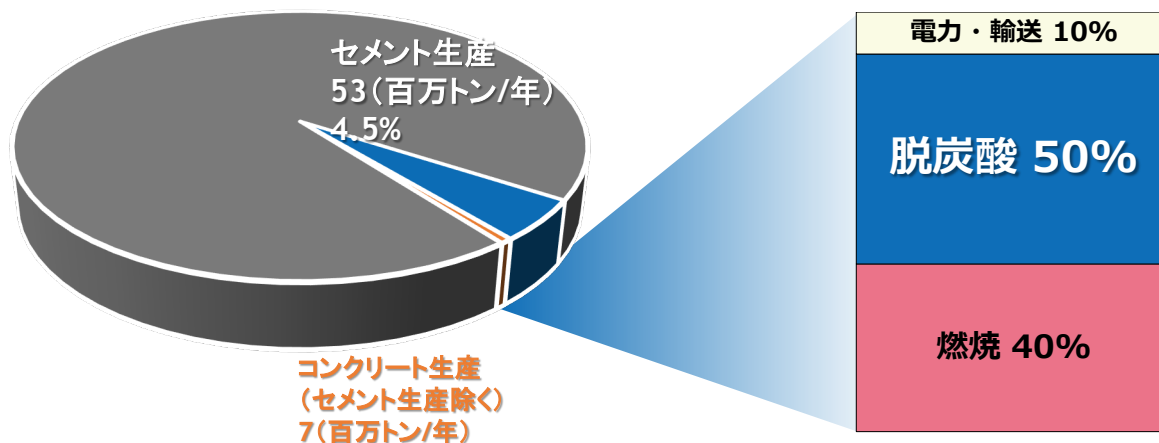
地球環境再生のために、持続可能な資源循環の実現による、地球温暖化問題の解決（Cool Earth）と環境汚染問題の解決（Clean Earth）を目指す。



<https://www8.cao.go.jp/cstp/moonshot/sub4.html>

☐ コンクリートに関わるCO₂排出・資源投入の現状

日本の総CO₂排出量：1,190（百万トン/年）・・・2017年

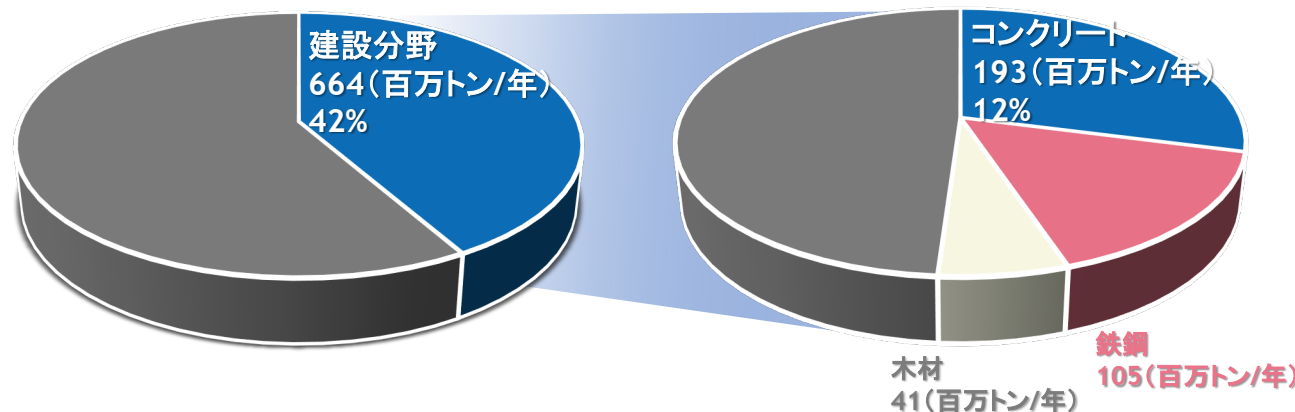


脱炭酸による
大気中へのCO₂排出
2,640（万トン/年）

1996年（ピーク）
4,420（万トン/年）

国立環境研究所「日本の温室効果ガス排出量データ」、日本コンクリート工学会「コンクリートセクターにおける地球温暖化物質・廃棄物の最小化に関する研究委員会報告書」を基に作成

日本の総物質投入量：1,590（百万トン/年）・・・2017年

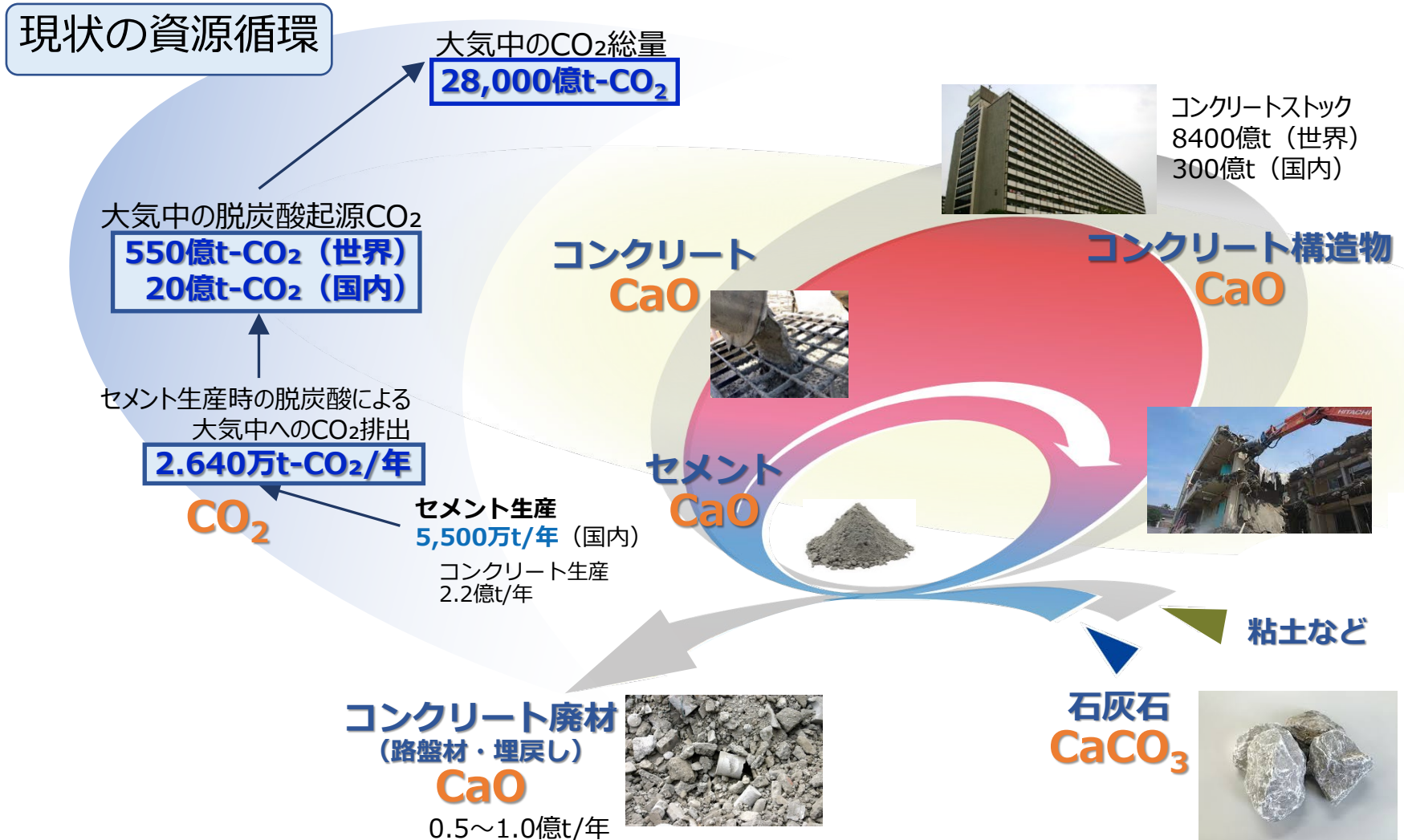


コンクリートへの
物質投入量

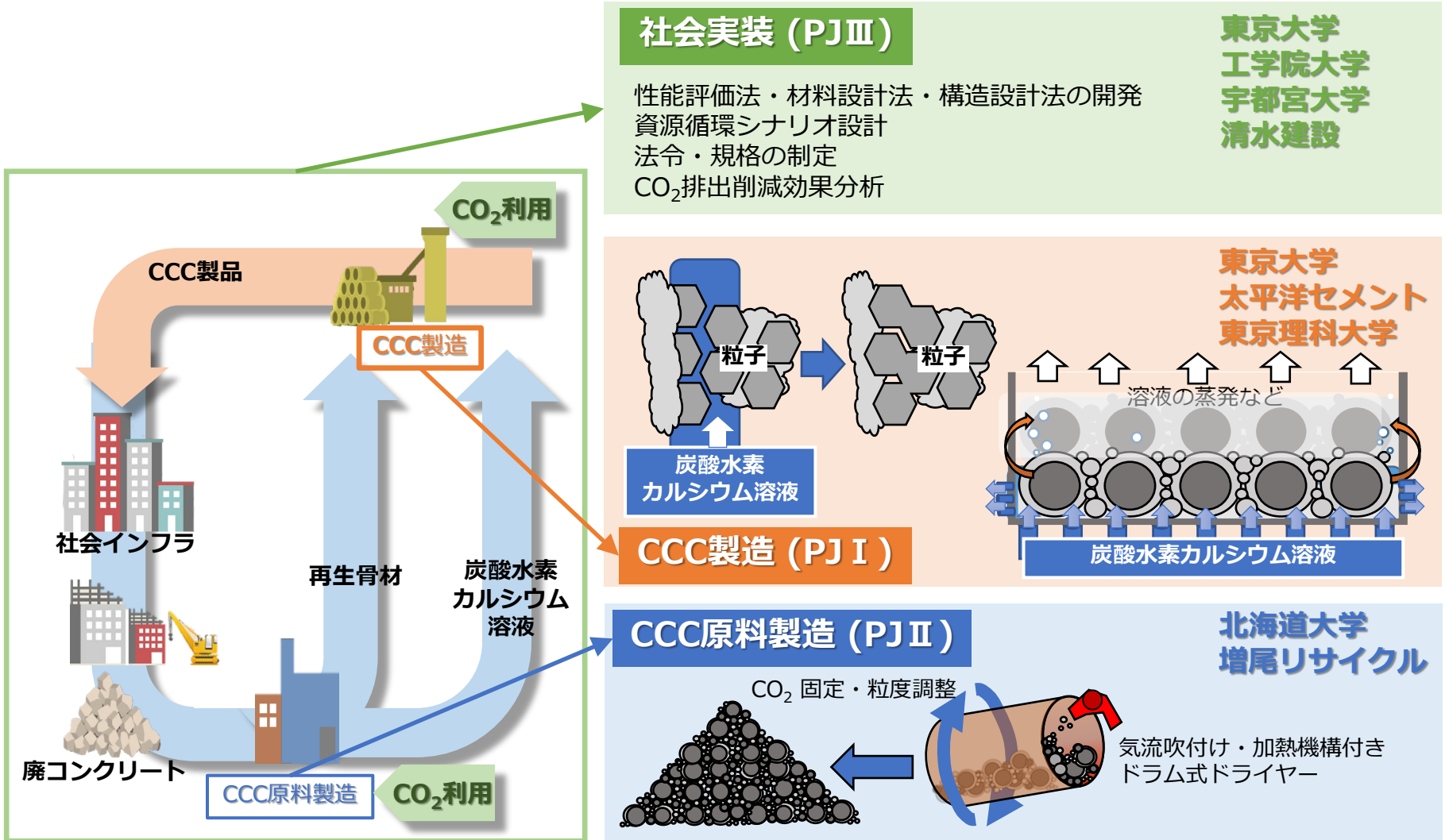
1990年（ピーク）
455（百万トン/年）
総物質投入量の**19%**

環境省「令和2年版環境・循環型社会・生物多様性白書」、産業環境管理協会「リサイクルデータブック2019」、全国生コンクリート工業組合連合会「過去の出荷実績」、日本鉄鋼連盟「鉄鋼統計要覧」、林野庁「平成30年度森林・林業白書」を基に作成

☐ コンクリートに関する資源循環・CO₂排出の現状



ムーンショットC⁴S研究開発プロジェクトの概要

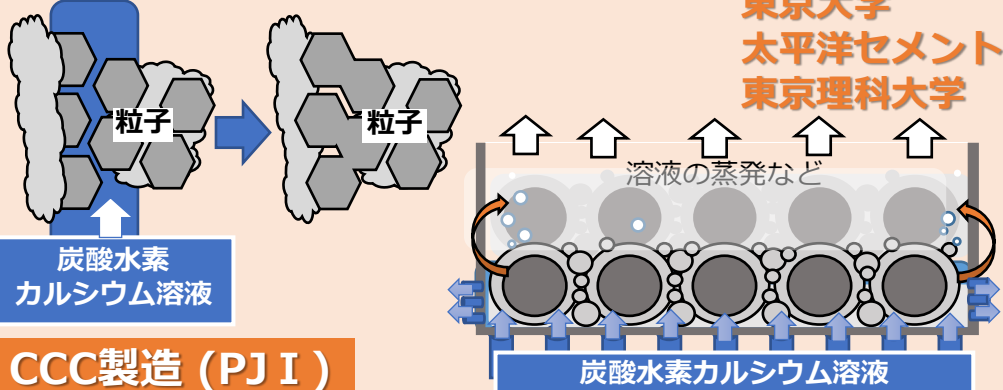


社会実装 (PJⅢ)

性能評価法・材料設計法・構造設計法の開発
資源循環シナリオ設計
法令・規格の制定
CO₂排出削減効果分析

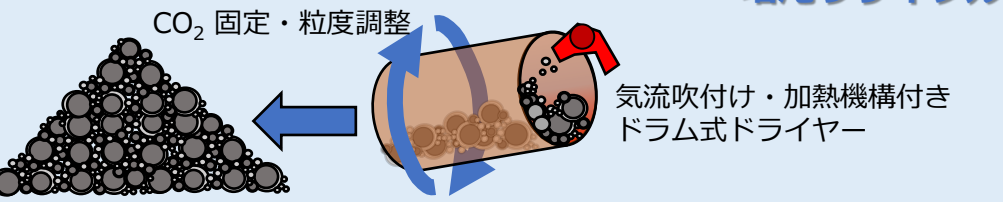
東京大学
工学院大学
宇都宮大学
清水建設

CCC製造 (PJ I)



東京大学
太平洋セメント
東京理科大学

CCC原料製造 (PJ II)



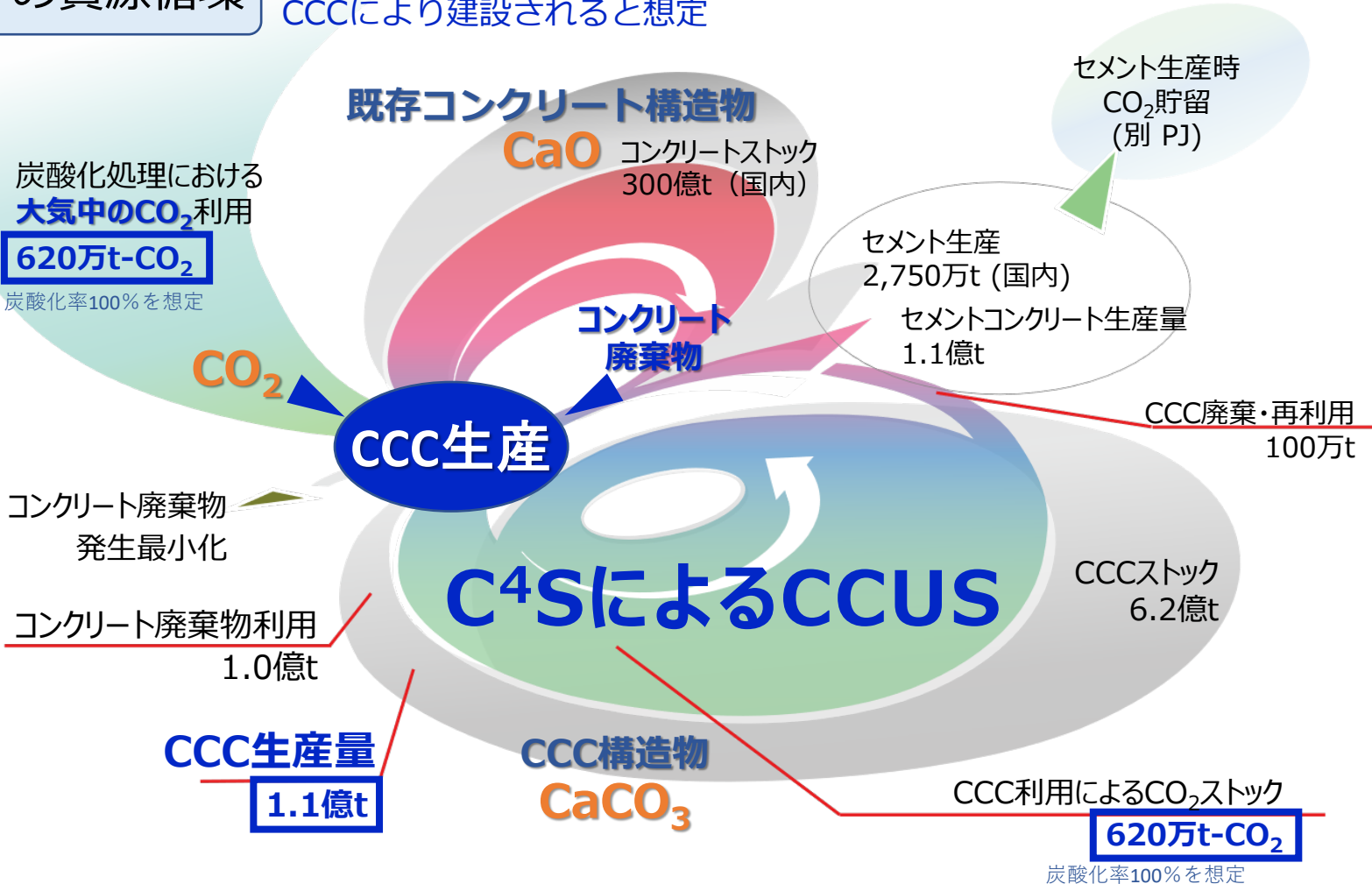
北海道大学
増尾リサイクル

CCC*を利用した場合の資源循環・CO₂排出の将来

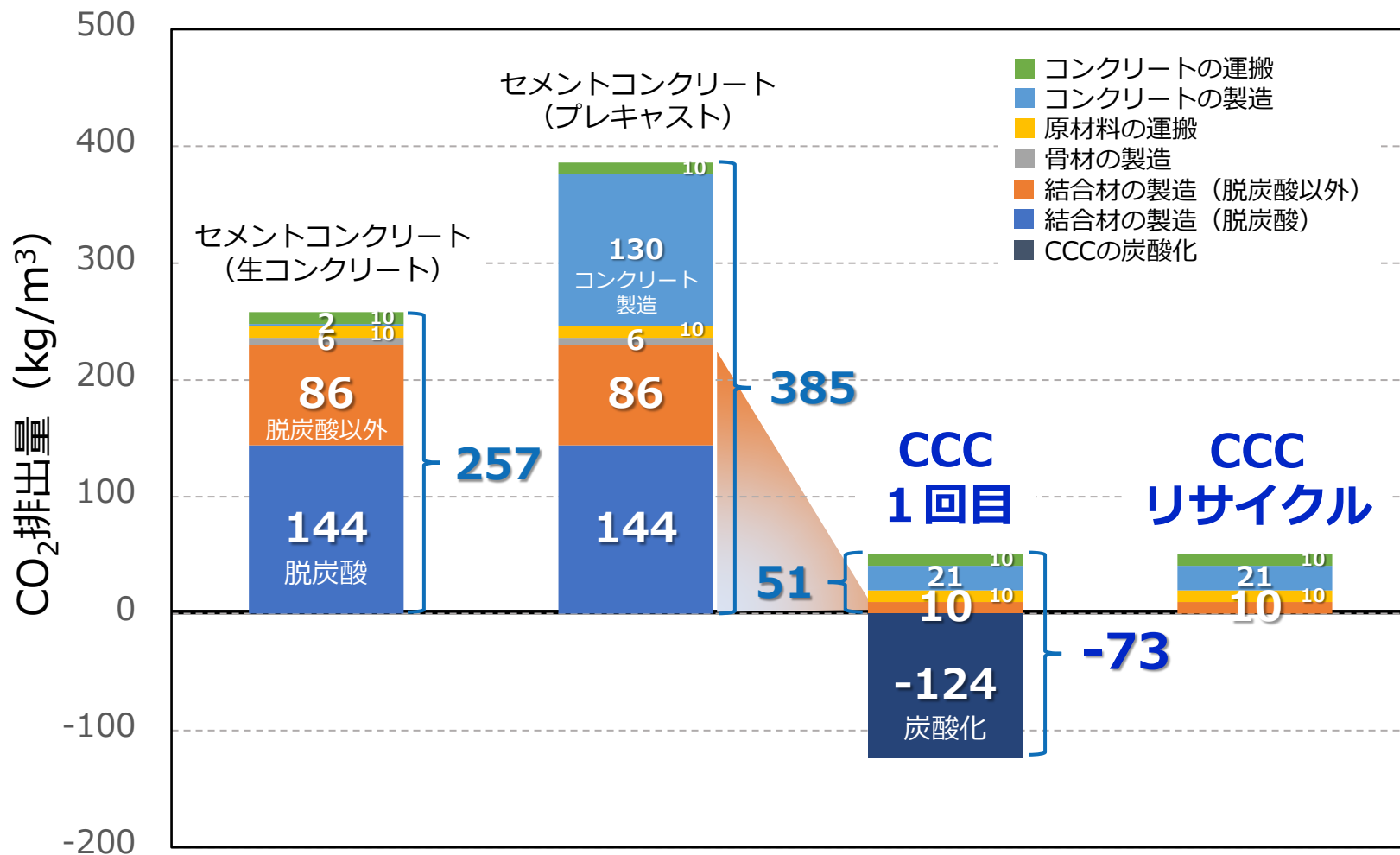
*Calcium Carbonate Concrete

2050年の資源循環

50%のコンクリート構造物が
CCCにより建設されると想定



CCCとセメントコンクリートとのCO₂排出量の比較



☐ カルシウムカーボネートコンクリートの特徴

◆ 砕いた使用済みコンクリートの間に炭酸カルシウムを析出させてコンクリートが硬化

→ 全く異なる硬化メカニズム

◆ 原料：①大気中のCO₂ ②水 ③Caを含む使用済みコンクリート

→ コンクリートが排出したCO₂と同等程度のCO₂を固定化

→ 大気中のCO₂濃度の削減に貢献（2050年：▲620万t-CO₂/年）

→ 建設分野のCO₂排出削減に貢献

→ **カーボンニュートラル、CCUS**

→ 全国どこにでも存在するCO₂とコンクリート構造物

→ **地産地消**

◆ 何度でもリサイクル可能

→ **完全な資源循環**

社会実装の流れ（建築物の構造材料としての利用）

年	CCCの開発・普及	CCC生産量	法律・規格の制定・改正
2023	12N/mm ² の圧縮強度達成	0 千t	
2025	実験構造物の建設	0.1 千t	
2030	低層CCC造建築物 2～3棟の建設	2 千t	① 建築基準法第20条に基づく大臣認定の取得
2040	毎年1.725倍増	345 千t	② 日本建築学会規準・標準仕様書の制定
			③ 建設省告示1446号（技術的基準）の改正
2050	コンクリート構造物の50%がCCC造	110,000 千t	④ 建築基準法第37条2項に基づく大臣認定の取得
			⑤ 日本産業規格（JIS）の制定
			⑥ 建設省告示1446号（技術的基準）の改正
			⑦ 建築基準法第37条1項への適合



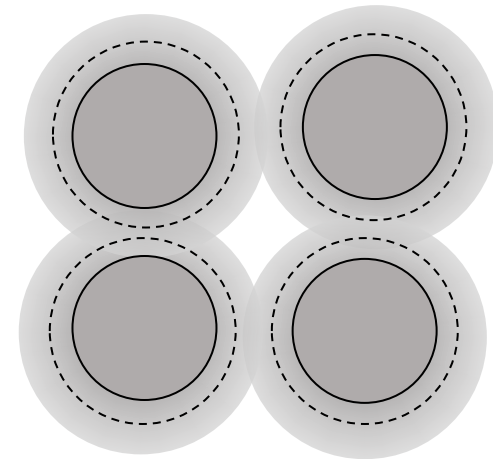
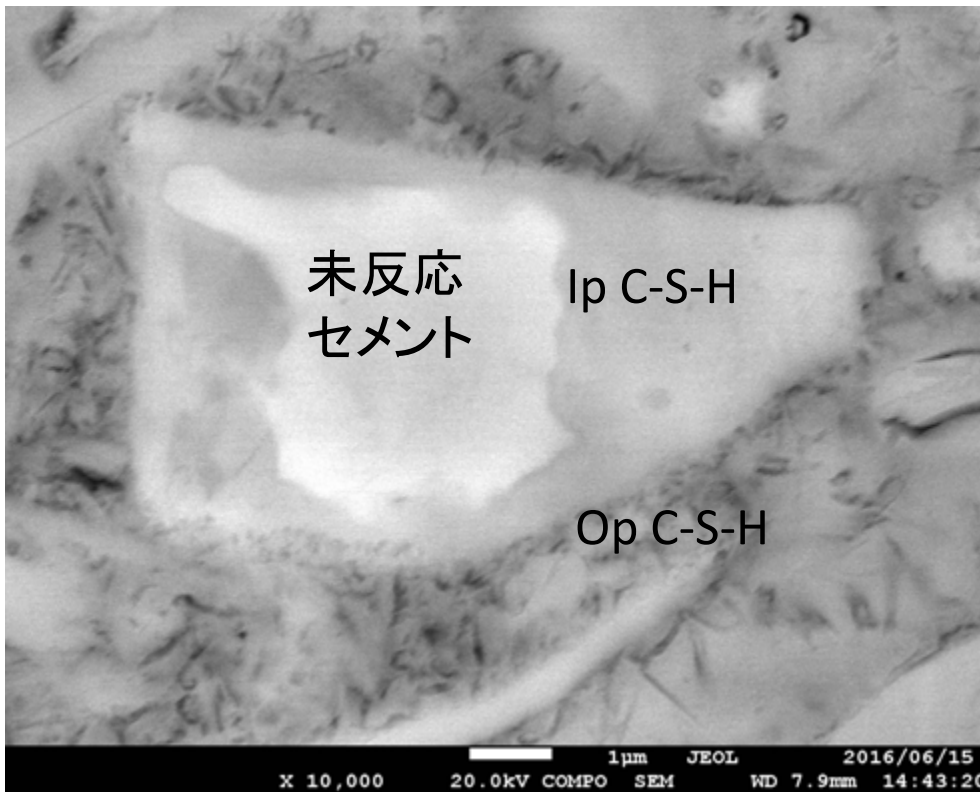
基礎製造原理の開発の概要

炭酸カルシウムを結合材とした硬化体



開発の背景：従来のコンクリート

- 現在のポルトランドセメントは、**カルシウム**を起点として低密度水和物を作ることによって水和反応による強度増大を可能としている。



開発の背景：カルシウムの起源



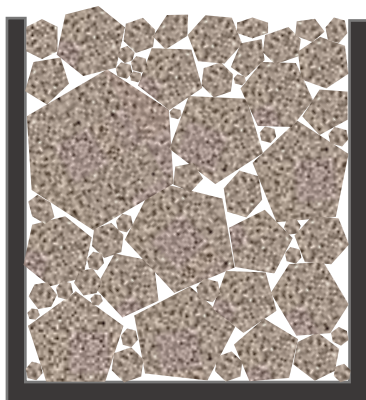
石灰岩 (CaCO₃) を採取して利用

→ カルシウムを用いようとするときにCO₂を発生させてしまう。

都市の建設物は貴重なカルシウム源



開発の背景：廃コンクリートの再利用



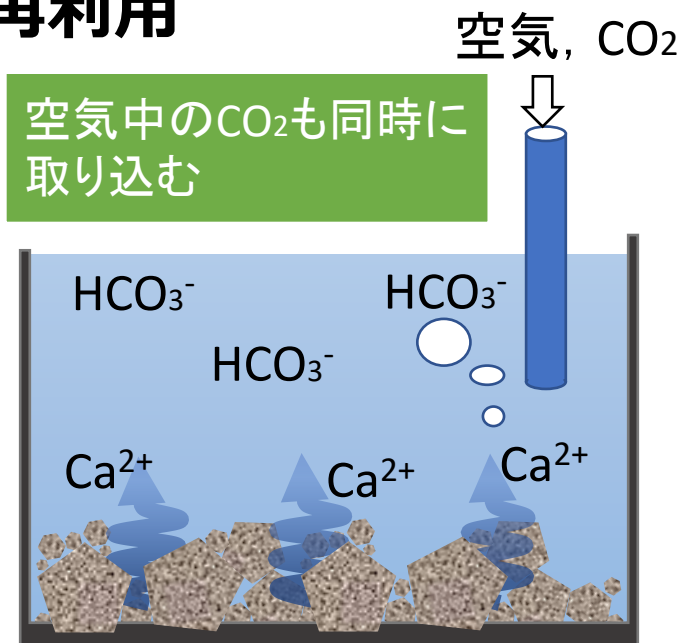
- 新たなカルシウムカーボネートコンクリートの骨材として再利用

新しいコンクリートの骨材に



開発の背景：廃コンクリートの再利用

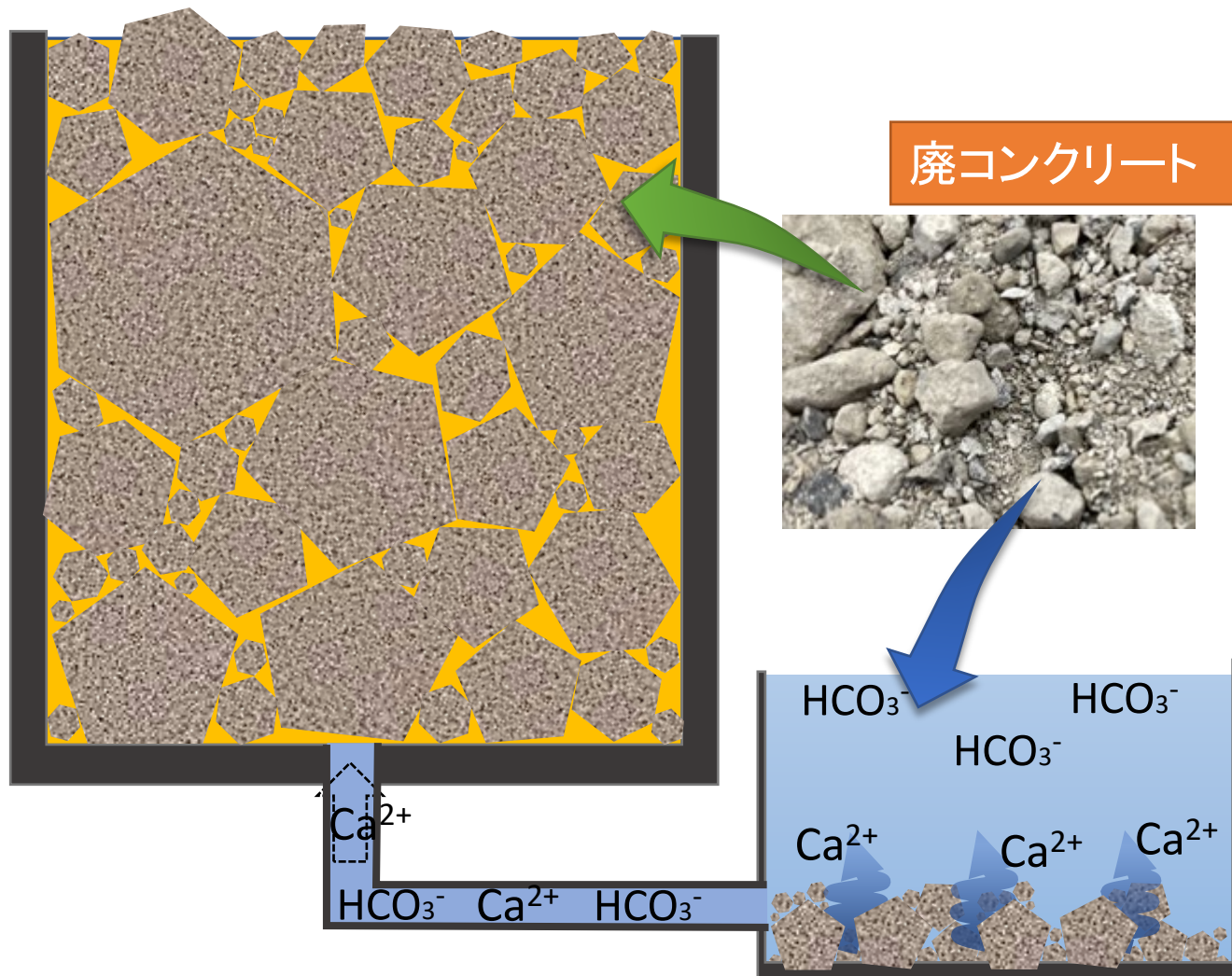
- Caを再利用するために、コンクリート廃材を用いる。
- このとき、大気中のCO₂、工場の廃ガスの中のCO₂も合わせて取り出す。
- CaとCO₂を原料として結合材にする。
=石灰岩に戻す反応を利用する。



炭酸カルシウム製造のためのCa用の原料に

廃コンクリート=貴重なCa資源

炭酸カルシウムを結合材とした複合材料



実験：

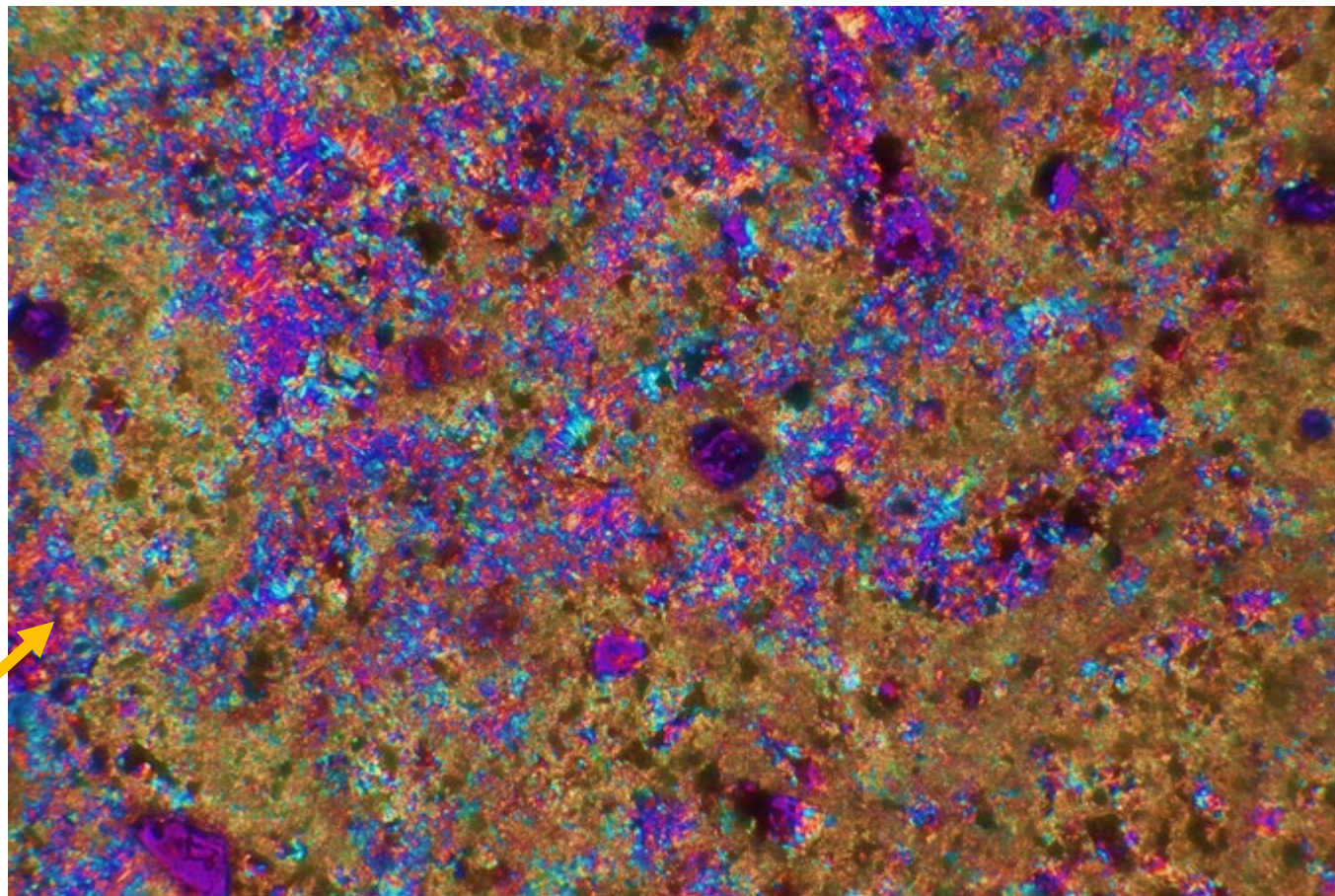
- 今回の検討では、骨材として廃コンクリートを模したセメントペースト粉末，珪砂を用いた。
- 石灰岩とCO₂ガスを用いて溶液を生成



骨材：セメントペースト

骨材：珪砂

☐ 炭酸カルシウム(CaCO₃)の空間充填の様子 (偏光顕微鏡観察)



炭酸カルシウムの析出箇所

0.1 mm

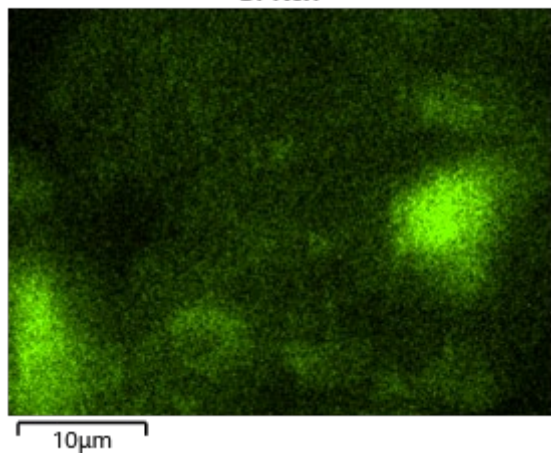
注: 彩度について可視性を向上させるために加工している。

電子顕微鏡の観察結果

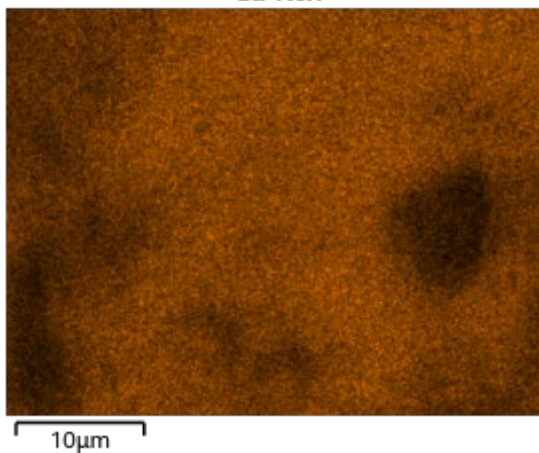
Electron Image 1



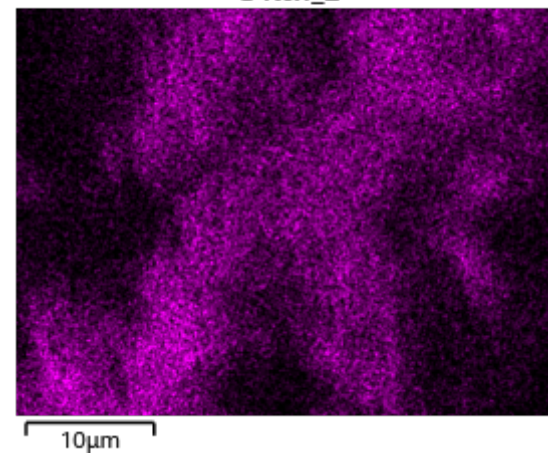
Si Kα1



Ca Kα1



C Kα1_2



元の骨材部分

炭酸カルシウムを構成する Ca と C

📌 まとめ

- 分析の結果，硬化体を製造後，骨材質量に対して**8%**の炭酸カルシウムが空間を充填して結合材となった。
- 本実験から推定して、 1m^3 のカルシウムカーボネートコンクリートに CO_2 は**124kg**以上の固定が可能となる。
(製造に関わるエネルギー等の CO_2 は考慮していない。)
- 1m^3 のコンクリートが置き換わると、トータルでは320～460kgの CO_2 のマイナス効果が生ずる。
- 今後，さらに大きな骨材を入れた系の製造プロセス開発をすすめる。



補足資料

CO₂の排出・吸収量の計算根拠（1）

ライフサイクルの段階	現行のセメントコンクリート1m ³ あたり (工場でプレキャストコンクリートを製造する場合)	提案するCCC1m ³ あたり (解体コンクリート廃棄物を原材料とし、CCCを工場で製造する場合)
原材料の採取・採掘段階	石灰石の採掘	石灰石の採取は不要 ※解体コンクリート廃棄物を使用するため
原材料の製造段階	ポルトランドセメントの製造 (1450℃焼成 + 脱炭酸) コンクリート1m ³ あたり: 229 kg-CO ₂	CCC原材料の製造 (破碎 + 炭酸化処理) CCC1m ³ あたり: 破碎 9 kg-CO ₂ /m ³ CCC1m ³ あたり: 炭酸化処理 1 kg-CO ₂ /m ³
	骨材の製造 コンクリート1m ³ あたり: 破碎 6 kg-CO ₂ /m ³ (骨材の体積はコンクリートの2/3)	骨材の製造は不要: ※CCC原材料には骨材が既に含まれるので、骨材の製造は不要
原材料の運搬	社会実装の状況によるが、十分に普及した場合、同距離と考えられるので、 <u>CO₂排出も同等 (10 kg-CO₂/m³-コンクリートと仮定)</u> と考えられる。	
コンクリートの製造段階	コンクリートの練混ぜ・打込み コンクリート1m ³ あたり: 2 kg-CO ₂ (生コン) コンクリート1m ³ あたり: 130 kg-CO ₂ (プレキャスト)	析出処理 CCC1m ³ あたり: 21 kg-CO ₂
コンクリートの運搬	社会実装の状況によるが、十分に普及した場合、同距離と考えられるので、 <u>CO₂排出も同等 (10 kg-CO₂/m³-コンクリートと仮定)</u> と考えられる。	
現場施工段階	プレキャストコンクリート部材の組立て	CCC部材の組立て
	部材の組立てに関する作業手順はほぼ同じと想定しているので、 <u>CO₂排出も同等 (100 kg-CO₂/m³-コンクリートと仮定)</u> と考えられる。	
構造物の使用段階	構造物の使用時にコンクリートそのものに関するCO ₂ 排出量の全体に占める比率は無視でき、 <u>CO₂排出量も同等 (0 kg-CO₂/m³-コンクリートと仮定)</u> と考えられる。	
構造物の解体段階	コンクリート強度が同等なので、 解体エネルギーおよび <u>CO₂排出量も同等 (17 kg-CO₂/m³-コンクリートと仮定)</u> と考えられる。	
リサイクル段階	コンクリートのリサイクル (破碎) 破碎: 9 kg-CO ₂ /m ³	CCCのリサイクル (破碎・CCC原材料処理) 破碎: 9 kg-CO ₂ /m ³
リサイクル用途	路盤材として再生使用 道路需要に依存した開ループ	CCC原材料として再生使用 同一の材料への閉じたループ

CO₂の排出・吸収量の計算根拠（2）

■ セメントコンクリート1m³の製造におけるポルトランドセメント製造の寄与分

セメント1tonの製造におけるCO₂排出量は765.5kg/ton（出典：セメント協会）であるので、セメントコンクリート1m³中のセメント量を300kgとすると、セメントコンクリート1m³あたりでのセメント製造によるCO₂排出量は、230kg-CO₂/m³（765.5×0.3）となる。

■ CCC原材料（骨材）の製造（破碎）

セメントコンクリートおよびCCCの破碎時のCO₂排出量は、いずれも9kg-CO₂/m³と想定した。その想定根拠は、1tonのセメントコンクリートおよびCCCを破碎して砕砂（路盤材やCCCの原材料）を製造する場合のCO₂排出量は3.7kg-CO₂/ton（出典：土木学会LCA小委員会）であり、セメントコンクリートおよびCCCの密度はともに2.3~2.4ton/m³（セメントコンクリートとCCCとは同等の強度を想定していることから、密度も同程度になると想定）であるので、3.7kg-CO₂/ton×（2.3~2.4）ton/m³≒9kg-CO₂/m³となる。

■ CCC原材料（炭酸水素カルシウム溶液）の製造（炭酸化処理）

実際のレディーミクストコンクリート工場において、運搬車および製造設備の洗浄廃水をスラッジ水槽において常時攪拌するのに要するエネルギーの消費に伴うCO₂排出量を多めに見積もり、コンクリート1m³あたり1kg-CO₂（全体から考えると微量）と仮定する。そのうえで、CCCの原材料となる解体コンクリート廃棄物の破碎によって生じる微粉を同様にスラッジ水槽で攪拌しながら炭酸化処理を行うこととし、CCCを1m³製造するのに必要となる炭酸水素カルシウム溶液の製造によって排出されるCO₂量も1kg-CO₂/m³と仮定する。

■ CCCの製造（析出処理）

コンクリートを粉砕して平均粒径1mmの粒子とした後に、炭酸カルシウムを析出させて再結合させると想定する。この場合、CCCの密度を2.3~2.4ton/m³とすると、約50,000m²/m³-CCCの結合面積が必要となる。炭酸カルシウムの新たな析出によって既存炭酸カルシウムの表面間を接合するのに15nmの厚さ（結晶格子で30個分）が必要と考えると、1gの炭酸カルシウムの析出で、24.6m²/g（=0.369cm³/g/15nm）の面積を結合することが可能になる。このため、1m³のCCCでは2000gの炭酸カルシウムを析出させる必要がある。炭酸水素カルシウム飽和溶液を含浸したCCC原料を圧密し、内部に過飽和状態を作り出して炭酸カルシウムを析出させることを想定する。この場合、2000gの炭酸カルシウムの析出を溶液の蒸発によって実現する（実際には、温度変化だけでも析出は十分可能と考えられる）。炭酸水素カルシウムの飽和溶解度が16.1g/100g-H₂O@20℃なので、蒸発させる溶液中の水分量は約13kgとなり、その蒸発に必要なエネルギーは29250kJ（=2250kJ/kg×13kg）となる。したがって、1m³のCCCを製造する際に炭酸カルシウムの析出で排出されるCO₂量は、約2kg-CO₂/m³（←0.0195kg-C/MJ×29250kJ）となる。

一方、1m³のCCC内に含まれ得る溶液の総量は130Lと想定（同等の圧縮強度のセメントコンクリートの飽和含水率に基づき想定）されるので、これをすべて加熱して乾燥することを考えた場合には、排出されるCO₂量は、20.9kg-CO₂/m³（←0.0195kg-C/MJ×2250J/kg×130kg=0.0195×0.2925ton-C=0.0057ton-C=5.7kg-C）となる。

これらの大きい方の値である21kg-CO₂/m³を炭酸カルシウムの析出処理によるCO₂排出量と想定する。

なお、上記の2つの方法で用いる熱源は、セメントの高温焼成などに用いるほど高温領域のものではないので、工場廃熱や太陽熱エネルギーなどを利用することにより、さらにCO₂低減を期待することができると考えられる。

火星の状況

Orbital Identification of Carbonate-Bearing Rocks on Mars

Bethany L. Ehlmann,¹ John F. Mustard,¹ Scott L. Murchie,² François Poulet,³ Janice L. Bishop,⁴ Adrian J. Brown,⁵ Wendy M. Calvin,⁶ Roger N. Clark,⁶ David J. Des Marais,⁷ Ralph E. Milliken,⁸ Leah H. Roach,⁹ Ted L. Roush,⁷ Gregg A. Swayze,⁶ James J. Wray¹⁰

Geochemical models for Mars predict carbonate formation during aqueous alteration. Carbonate-bearing rocks had not previously been detected on Mars' surface, but Mars Reconnaissance Orbiter mapping reveals a regional rock layer with near-infrared spectral characteristics that are consistent with the presence of magnesium carbonate in the Nilí Fossae region. The carbonate is closely associated with both phyllosilicate-bearing and olivine-rich rock units and probably formed during the Noachian or early Hesperian era from the alteration of olivine by either hydrothermal fluids or near-surface water. The presence of carbonate as well as accompanying clays suggests that waters were neutral to alkaline at the time of its formation and that acidic weathering, proposed to be characteristic of Hesperian Mars, did not destroy these carbonates and thus did not dominate all aqueous environments.

Although telescopic measurements hinted at the presence of carbonate on Mars (1–3), subsequent orbiting and landed instruments found no large-scale carbonate-bearing rocks (4, 5). Carveins within Martian meteorites (6) and at <5% abundance in Mars dust (1, 4) that it is present as a minor phase. Carbonate-bearing rock outcrops in light of evidence for surface water alteration, which produced sulfate and phyllo-

silicate minerals (5, 7). Carbonate is an expected weathering product of water and basalt in an atmosphere with CO₂ (8, 9), and large-scale

to form substantial carbonate (13) (thus implying that minerals such as phyllosilicates must have formed in the subsurface), or (ii) formation of carbonate deposits was inhibited or all such deposits were destroyed by acidic aqueous activity (14, 15) or by decomposition (16). Here we report the detection of carbonate in a regional-scale rock unit by the Mars Reconnaissance Orbiter's (MRO's) Compact Reconnaissance Imaging Spectrometer for Mars (CRISM) and discuss the implications for the climate and habitability of early Mars.

In targeted mode, CRISM acquires hyperspectral images from 0.4 to 4.0 μm in 544 channels at a spatial resolution of 18 meters per pixel (17). In addition to diverse hydrated silicates (18), CRISM identified a distinct, mappable

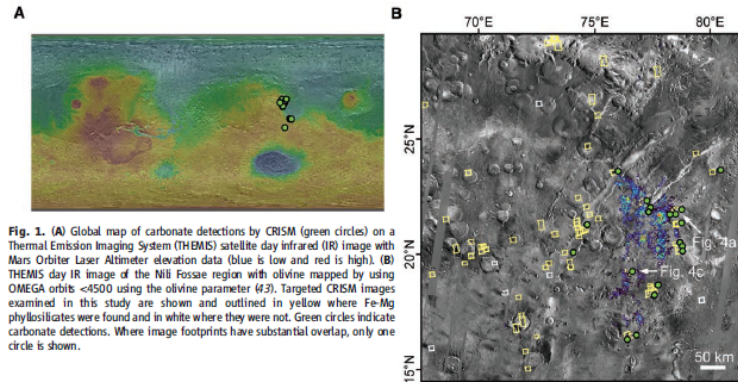
¹Department of Geological Sciences, Brown University, Providence, RI 02912, USA. ²Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory, 11100 Johns Hopkins Road, Laurel, MD 20723, USA. ³Institut d'Astrophysique Spatiale, Université Paris Sud 11, 91405 Orsay, France. ⁴SETI Institute and NASA Ames Research Center, 515 North Whisman Road, Mountain View, CA 94035, USA. ⁵Department of Geological Sciences and University of Nevada, MS 172, 1664 North Reno, NV 89557, USA. ⁶U.S. Geological Survey, 15046, Denver Federal Center, Denver, CO 80202, USA. ⁷Department of Geological Sciences and University of Nevada, MS 172, 1664 North Reno, NV 89557, USA. ⁸U.S. Geological Survey, 15046, Denver Federal Center, Denver, CO 80202, USA. ⁹Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, 4800 Oak Grove Drive, Pasadena, CA 91109, USA. ¹⁰Department of Astronomy, Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA.

炭酸塩の存在

水の存在

1828 19 DECEMBER 2008 VOL 322 SCIENCE www.sciencemag.org

REPORTS



Ehlmann, B. L. et al. Science 322, 1828–1832 (2008).

nature

Explore Content ▾ Journal Information ▾ Publish With Us ▾

nature > letters > article

Published: 17 March 2004

Perennial water ice identified in the south polar cap of Mars

Jean-Pierre Bibring , Yves Langevin, François Poulet, Aline Gendrin, Brigitte Gondet, Michel Berthé, Alain Soufflot, Pierre Drossart, Michel Combes, Giuseppe Bellucci, Maurizio Mazzoli, Marco Nicolas Mangold, Bernard Schmitt & the OMEGA team

Nature 428, 627–630 (2004)

579 Accesses | 226 Citations | 6 Altmetric | Metrics

Abstract

The inventory of water and carbon dioxide reservoirs on Mars are important clues for understanding the geological, climatic and potentially exobiological evolution of the planet¹. From the early mapping observation of the permanent ice caps on the martian poles^{2,3}, the northern cap was believed to be mainly composed of water ice, whereas the southern cap was thought to be constituted of carbon dioxide ice. However, recent missions (NASA missions Mars Global Surveyor and Odyssey) have revealed surface structures⁴, altimetry profiles⁵, underlying buried hydrogen⁶, and temperatures of the south polar

Bibring, J-P. et al. Nature 428, 624-630 (2004)

本日の記者会見で用いたスライド、および「C⁴S研究開発プロジェクト」主要研究者の集合写真は、以下のURLおよび2次元バーコードよりダウンロードできます。

<https://drive.google.com/drive/folders/16zJ6OBs2yfNezdV0vUnxkJ7tWv-2nkXM?usp=sharing>

救え、地球を！



C⁴Sで！！