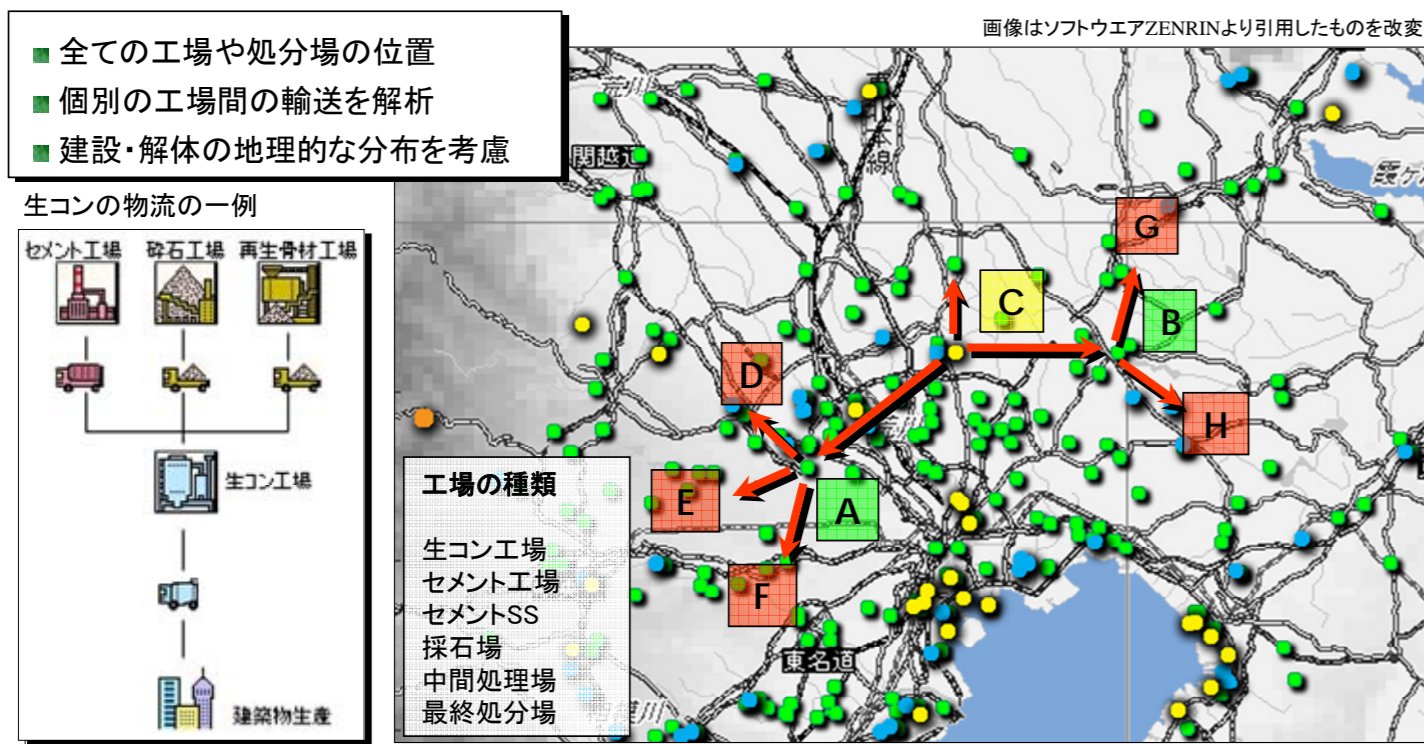


# 資源循環シミュレーターecoMAへの道路ネットワークの実装による精緻化と 廃棄物起源混和材の利用によるコンクリート産業のCO2削減量の挙動変化について

建築学専攻建築材料研究室  
共同研究員  
三谷卓摩  
連絡先: mitani@bme.arch.t.u-tokyo.ac.jp

## 1. 本研究の背景と目的

東京大学建築材料研究室で開発されている資源循環シミュレーションツールecoMAはマルチエージェントモデルを使うことで、実際の工場の立地、生産量を考慮した上で取引をさせることができ、個別にCO2排出量を算出するミクロモデルになっている。製品のCO2排出量を算出するだけでなく、地域別の需要を入力することで調達に関するCO2排出量が算定できるほか、行政が環境政策をとったときに、調達に与える変化などを検証することが可能となっている。



### 交通分野での課題

JEMAI, LIME, BEESなどの従来のLCA (ライフ・サイクル・アセスメント) 評価システムでは、直線距離や平均的な輸送距離を想定してCO2の排出量が計算されてきた。しかしながら、実際の道路ネットワークによって算出されるCO2排出量は、地域によっては輸送距離が大きく異なるものと考えられる。

### 建築材料分野での課題

コンクリート業界は、フライアッシュや高炉スラグ微粉末という他産業の廃棄物を利用することでセメントの消費量を減らし、CO2排出量の削減に取り組もうとしている。しかしながら、関東地域では、これらの廃棄物を利用した場合の調達の過不足を予測することができず、CO2削減量を定量的に評価することはできなかった。

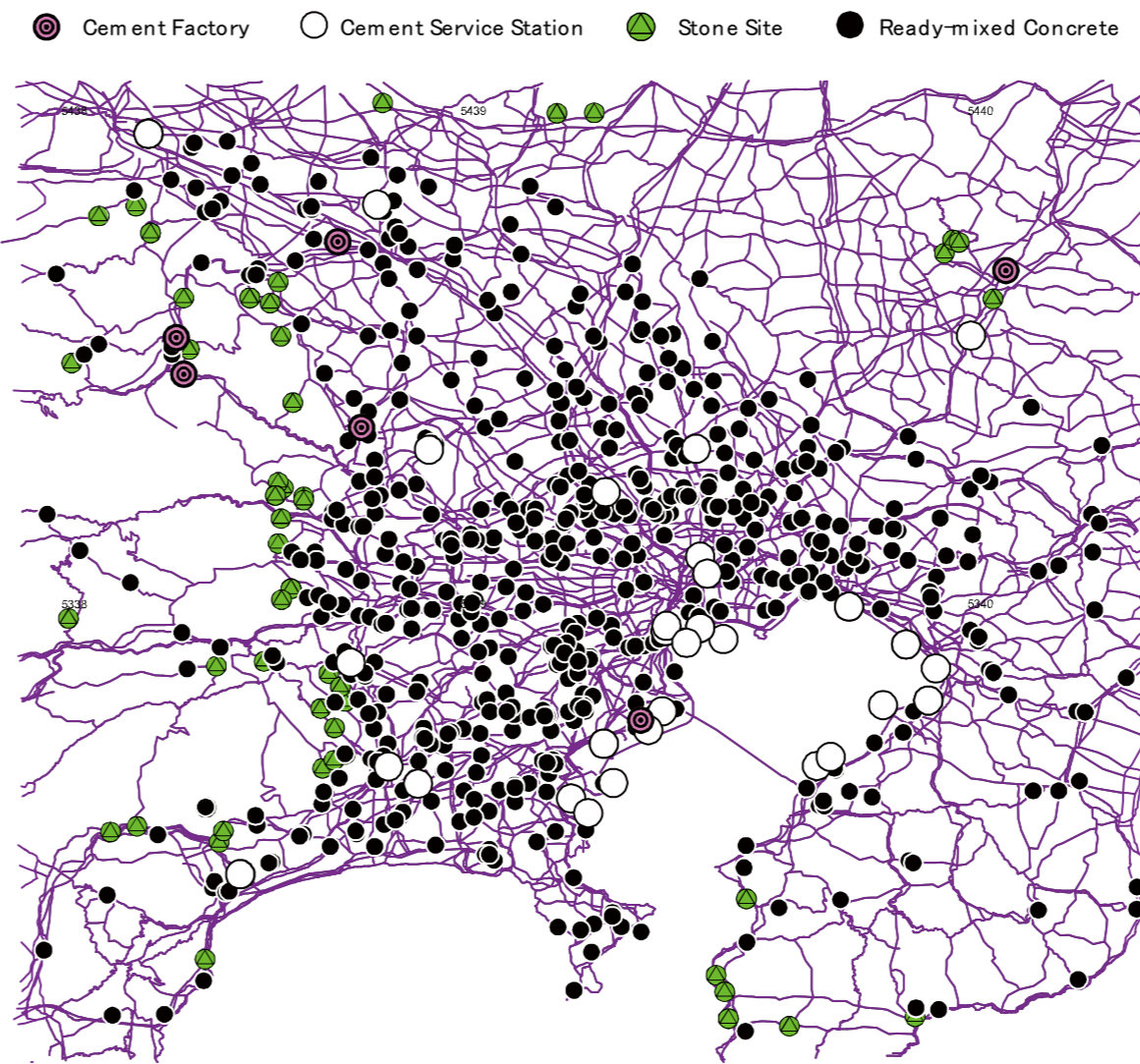


そこで、本研究では、資源循環シミュレーターecoMAに、道路ネットワークを実装することで、どこで生産されたものが、どこでどれだけ消費され、CO2が排出されるのか、というCO2の空間的分布やトレーサビリティの再現を精緻化することで二つの廃棄物を利用した際のCO2削減量とそのコスト評価を詳細に実現した。

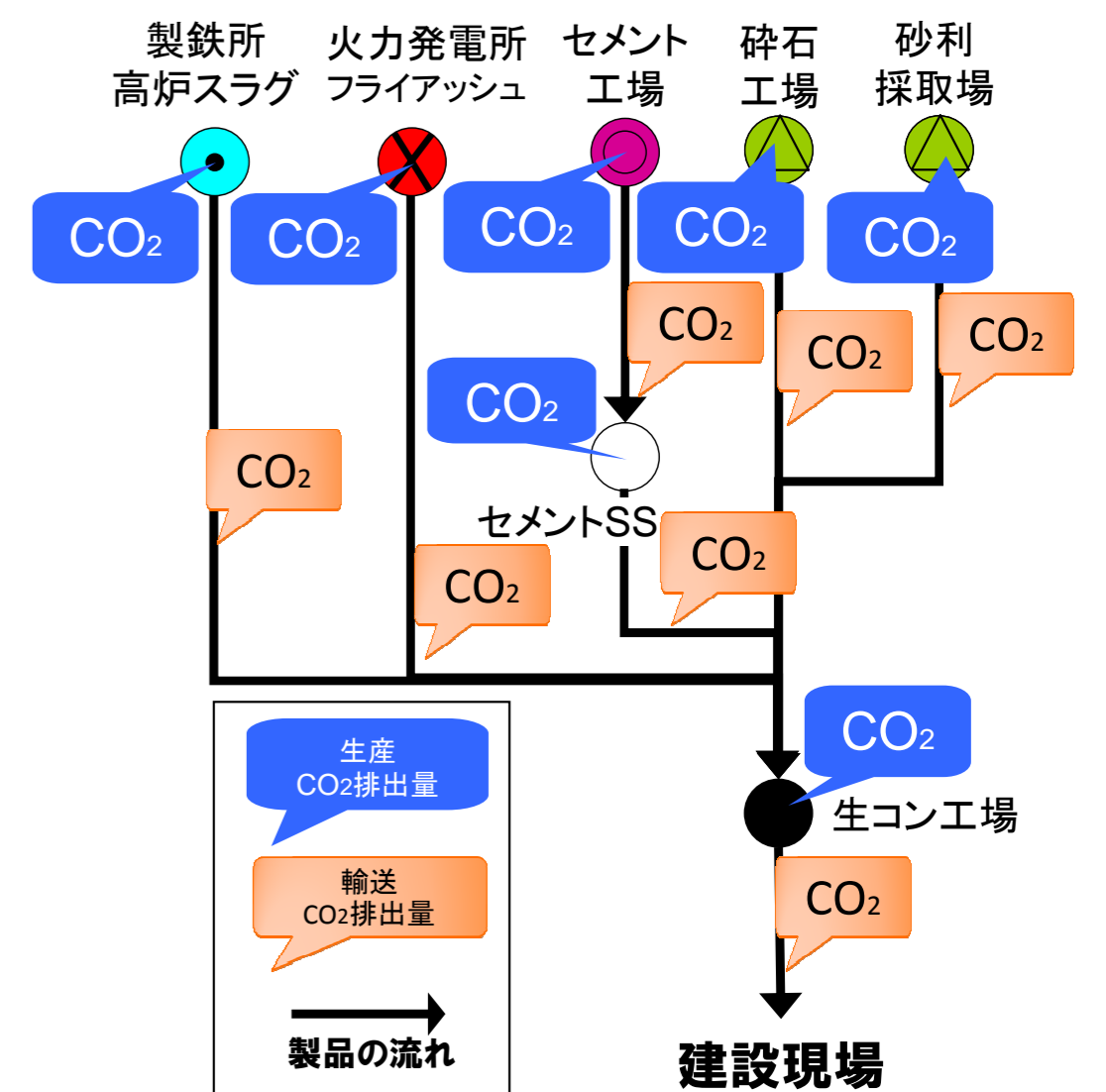
### 本研究の特長

- (1) LCA評価システムへの道路ネットワークの実装
- (2) 混和材によるCO2削減効果の定量的評価
- (3) 空間的分布やトレーサビリティの再現

## 2. 計算条件



関東地方の道路ネットワークとコンクリート関連産業の工場分布



適用したコンクリート関連のマテリアルフロー

### 工場別生産の排出原単位

工場種別	CO2排出原単位 (kg-CO2/t)
セメント工場	733.98
生コン工場	1.06
採石工場	4.21
砂利採取場	3.56

生産によるCO2排出量 = 生産量 × 生産CO2排出原単位

### 輸送の排出原単位

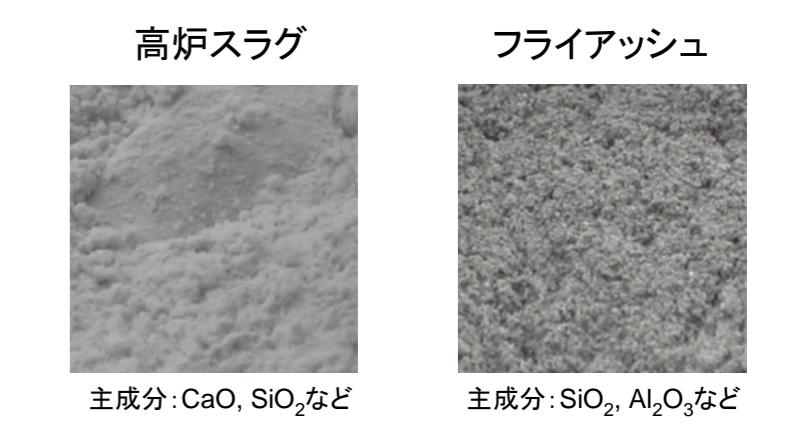
平成13年度の統計データに基づき  
輸送機関別CO2排出原単位

営業用普通トラックの  
0.174kg-CO2/t.kmを採用

輸送によるCO2排出量 = 輸送量 × 輸送距離 × 輸送CO2排出原単位

### 混和材料

コンクリート = セメント + 水 + 骨材 (+ 混和材料)



### コンクリートの調合 (一例)

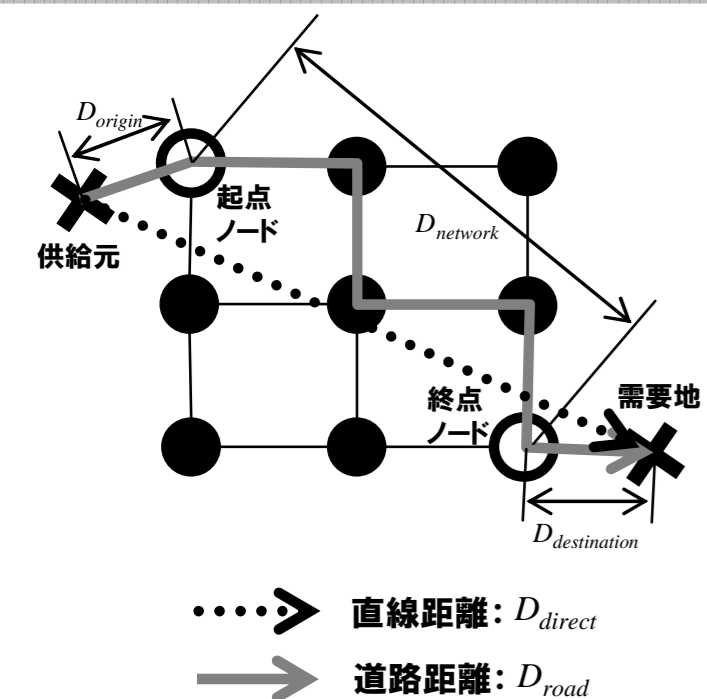
調合強度 (N/mm <sup>2</sup> )	スランプ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )	絶対容積 (l/m <sup>3</sup> )			質量 (kg/m <sup>3</sup> )			混和剤 (cc/m <sup>3</sup> )
							セメント	細骨材	粗骨材	セメント	細骨材	粗骨材	
28.325	18	4.5	52.2	20	42.8	183.9	111.5	282.6	377	352.3	712.2	995.3	845.5

・普通生コンクリート: 設計基準強度Fc = 18N/mm<sup>2</sup>  
 ・高炉スラグ入り生コン: 普通生コンと同耐久性 置換率45% (高炉セメントB種: 置換率30~60%)  
 ・フライアッシュ入り生コン: 普通生コンと同強度 置換率15% (フライアッシュセメントB種: 置換率10~20%)

### その他条件

■対象地域: 一部三県 (東京都, 神奈川県, 千葉県, 埼玉県)  
 ■建設現場/需要発生地メッシュ (南北方向196メッシュ, 東西方向132メッシュ)  
 ※地域メッシュは3次メッシュ (約1km四方)  
 ■生コンクリートの需要量: センナの関東一部三県の生産量をメッシュごとに ※人口分布は国勢調査を利用  
 ■取引方法: 取引額はランダムで、最大生産量を超えない限り距離が最も近い工場を選択  
 ■道路ネットワーク: みんなの地球プロジェクトver.1.1 trans.zipの関東地域の道路を使用  
 Node: 12,643 Link: 30,170 ※国道以上と県道の一部  
 ■スラグの生産量: 粗骨材あたりのスラグ量 (ヒアリングにより算出)  
 ■フライアッシュ生産量: 石炭灰統計および石炭灰協会へのヒアリングにより年間フライアッシュ生産量を火力発電所の出力電力で比例配分して算出

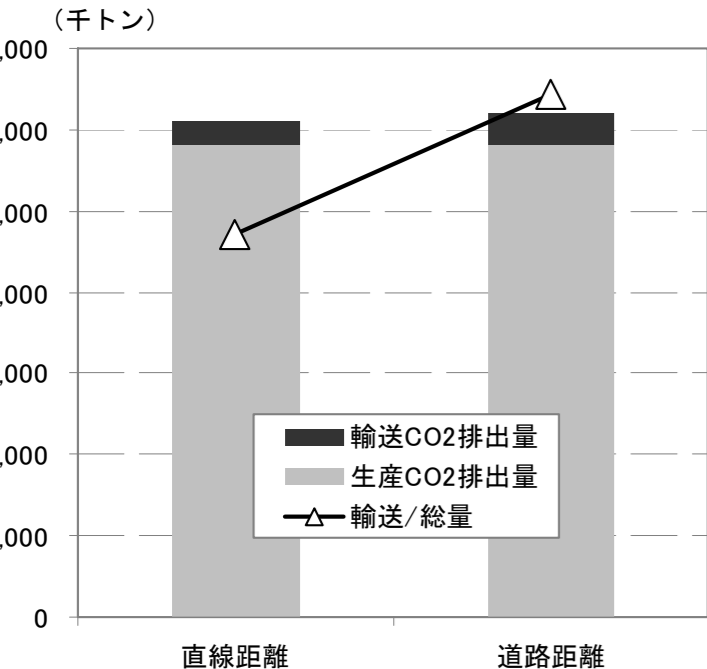
## 3. 道路ネットワークの実装による現況再現



<従来>  
Hubenyの距離計算式により輸送距離は直線距離:  $D_{direct}$

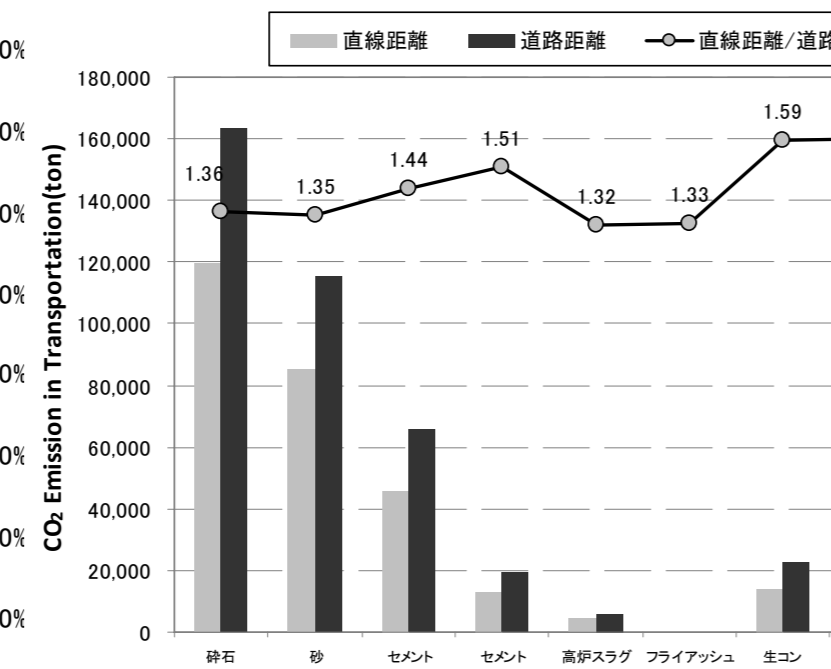
<本研究>  
道路ネットワークを利用して輸送距離は道路距離:  $D_{road} = D_{origin} + D_{network} + D_{destination}$   
 ※ネットワーク距離  $D_{network}$  は距離をコストとした最短経路探索により算出

### プロセス別総CO2排出量



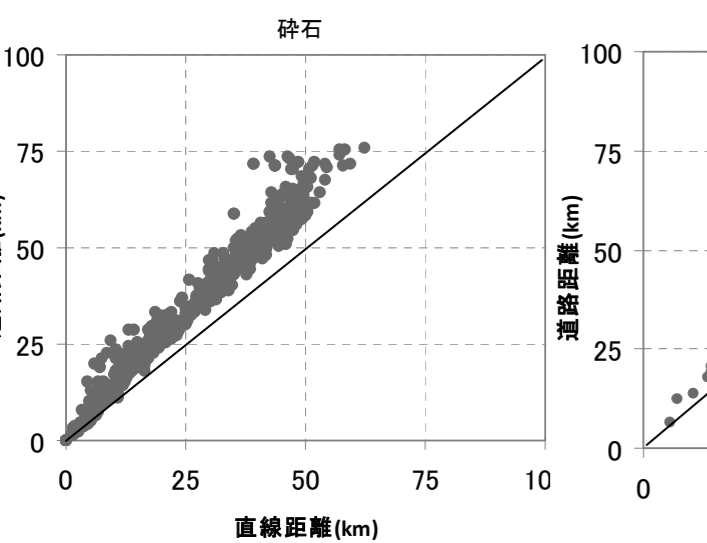
全体に占める輸送CO2排出量の割合は、道路距離では6.4%で、直線距離を用いた場合よりも1.7%増加した。

### 輸送資材別CO2排出量の比較



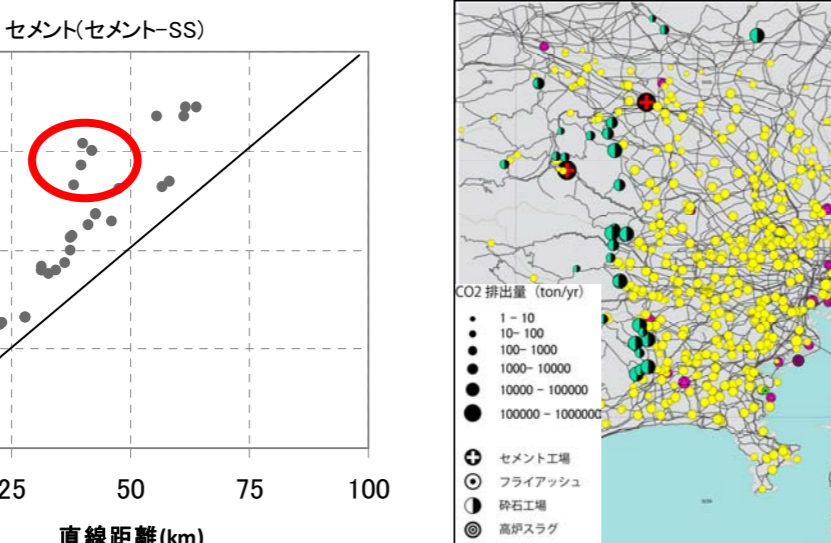
道路距離によるCO2排出量は、直線距離の場合に比べて、輸送資材によって異なるが1.3~1.6倍増加している。

### 輸送品別個別輸送距離の比較



直線距離が30km以上の部分でばらつきがみられた。これは、セメントの輸送には東京湾を迂回するルートが含まれているため、道路距離と直線距離の比が異なっていると考えられる。

### 工場別CO2排出量

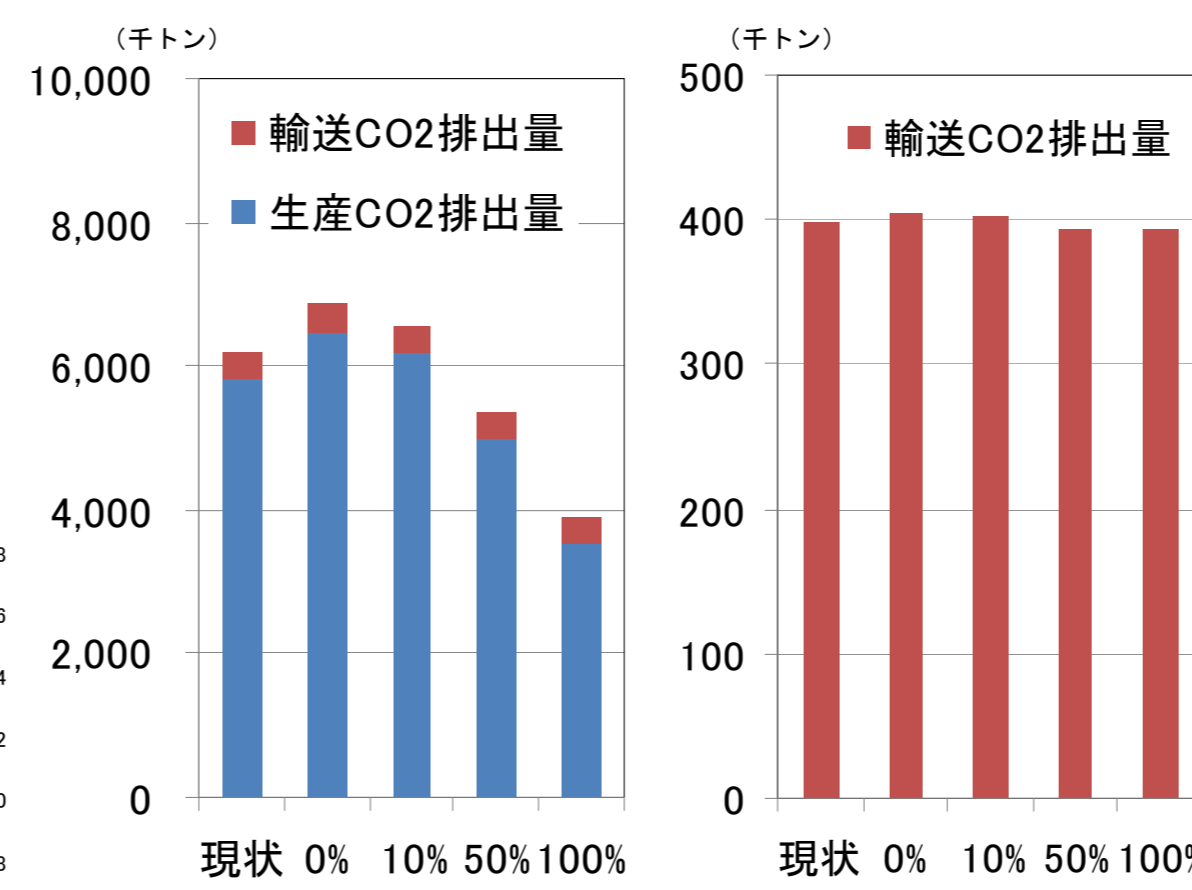


ecoMAにより現況再現を実施し、工場別CO2排出量の空間分布を可視化

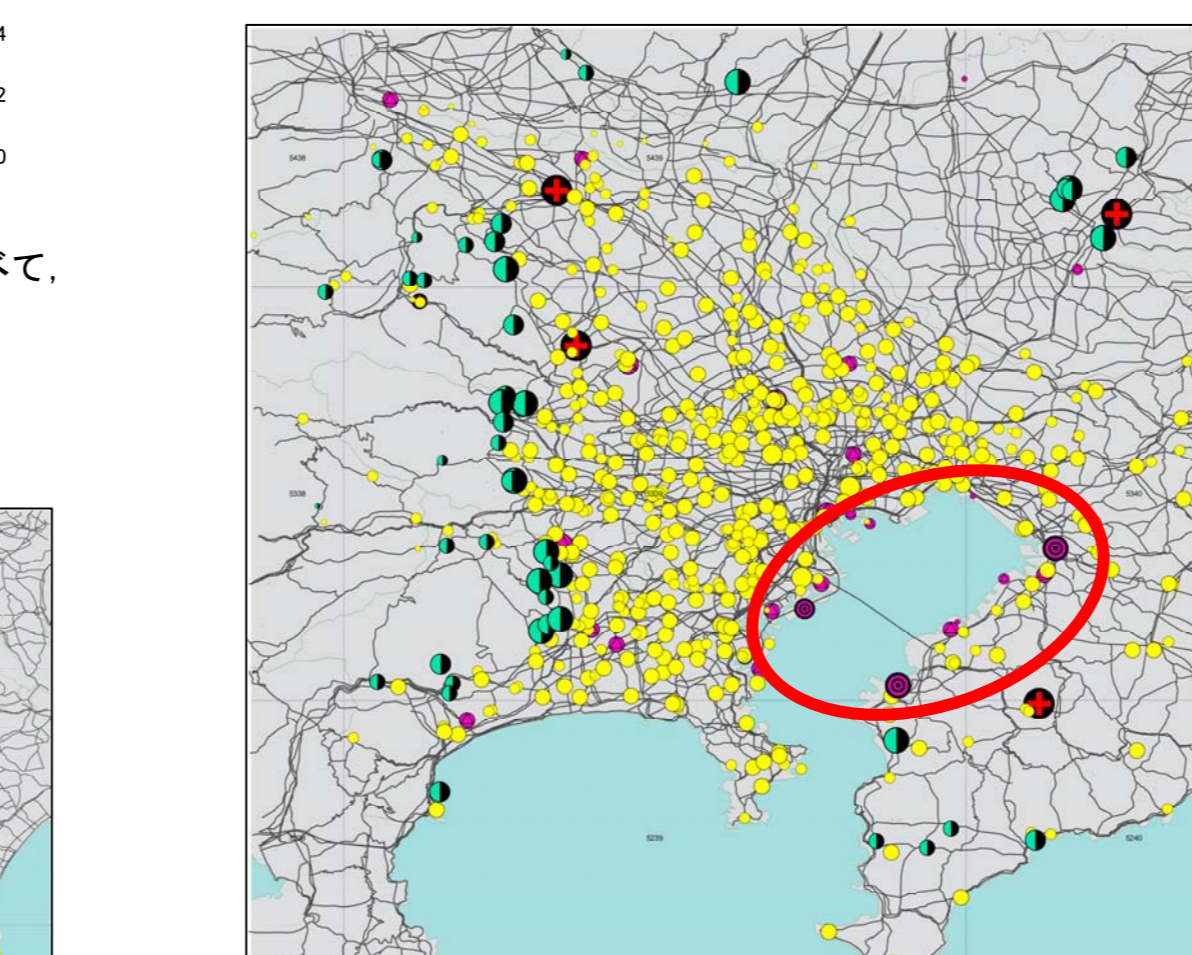
## 4. 混和材 (フライアッシュとスラグ) の導入によるCO2排出量予測

### 高炉スラグの高度利用が進んだ場合

総CO2排出量は減少し、輸送CO2排出量も減少する。需要の全てが高炉スラグ入り生コンとなるとCO2は約300万トン削減される。



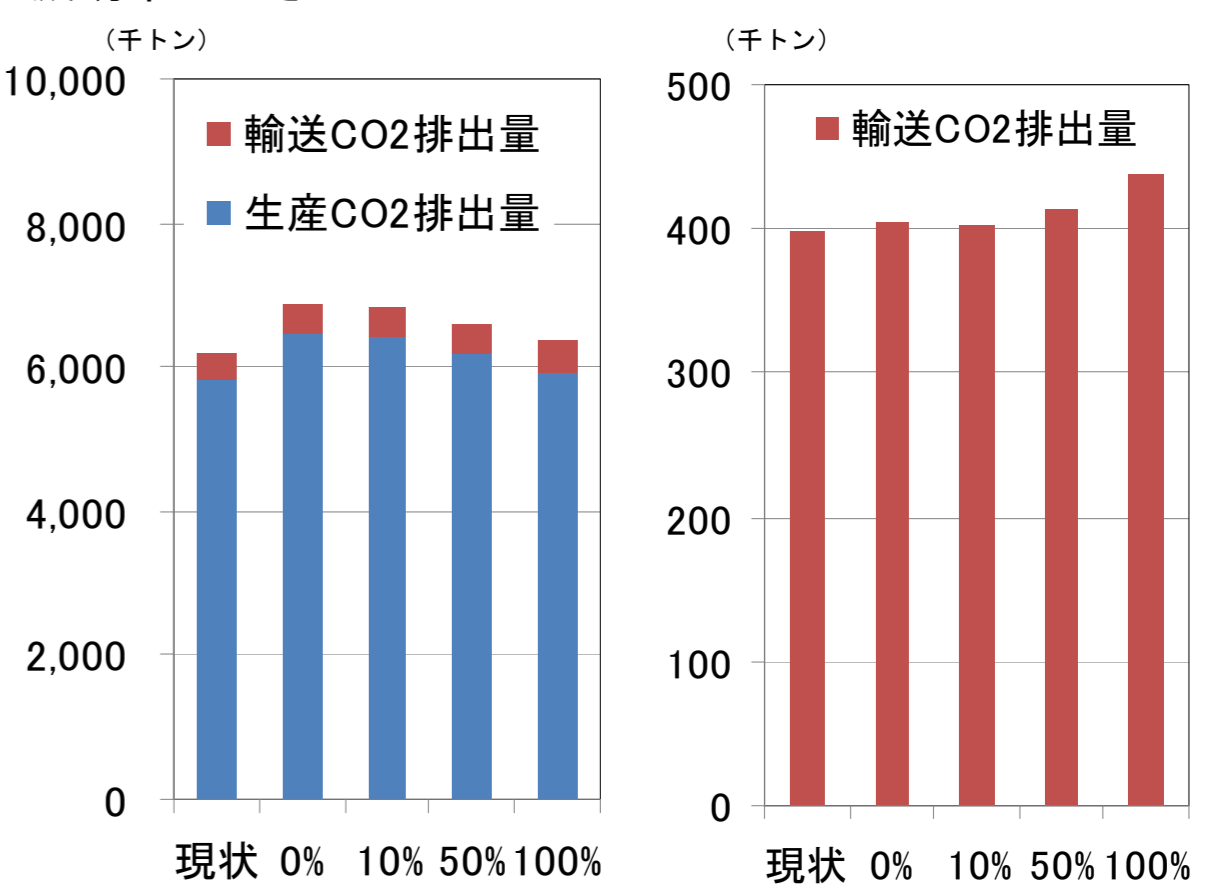
高炉スラグ使用生コンが100%の場合の工場別CO2排出量分布



関東圏の製鉄所から排出されるスラグ排出量は、生コン需要を満たしているため、高炉スラグの高度利用が進んでも、近距離輸送になる。しかし、フライアッシュ利用の場合、火力発電所からのフライアッシュ排出量は少ないので、フライアッシュ生コンの割合が約3割を超えると愛知や新潟の火力発電所から調達することになり、CO2削減効果が輸送によって低下してしまう。混和材としてはCO2排出量の観点から見てフライアッシュよりスラグの方がよいと考えられる。これは道路ネットワークの実装と、混和材入りコンクリートの環境負荷評価、各工場分布などを統合的にシミュレーションしてはじめてわかった事実である。

### フライアッシュの高度利用が進んだ場合

総CO2排出量は減少するが、輸送CO2排出量は増加する。全てがフライアッシュ入り生コンとなると、CO2は55万トン削減される。フライアッシュは高炉スラグに比べて極端に削減効果が小さい。



フライアッシュ使用生コンが100%の場合の工場別CO2排出量分布

