

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 28 日現在

機関番号：11201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24561000

研究課題名(和文)CO₂排出量削減を目指した省力・低環境負荷型露天採掘システムの構築研究課題名(英文)Construction of labor-saving and low environmental load type open-pit mining system with the aim of reducing CO₂ emissions

研究代表者

大塚 尚寛 (OTSUKA, NAOHIRO)

岩手大学・工学部・教授

研究者番号：40133904

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、地球温暖化防止の一環として、露天採掘および骨材生産に伴って発生する温室効果ガスであるCO₂(二酸化炭素)の排出削減に関するLCA(ライフサイクルアセスメント)手法を確立し、低炭素社会づくりに貢献することを目的とした。また、石灰石や砕石の採掘・生産において、地域との共生を前提にした“持続可能な開発”を継続するための環境調和型露天採掘方式への転換と、少子・高齢化、人口減少社会の到来に伴う労働力不足への対応を目指して、最新のIT(情報技術)を活用した省力・低環境負荷型の露天採掘システムを構築した。

研究成果の概要(英文)：This study, as part of the prevention of global warming, has established LCA (Life Cycle Assessment) approaches to reduce emissions of CO₂(carbon dioxide), a greenhouse gas that occurs in association with the open-pit mining and aggregate production. Thus, it was intended to contribute to a low-carbon society. It is necessary to shift to environment-friendly open-pit mining method to continue the "sustainable development" in the mining and production of limestone and crushed stone. Labor-saving and low environmental load type open pit mining system of utilizing the latest IT (information technology) was constructed with the aim to respond to labor shortages caused by the arrival of population decline society.

研究分野：資源開発

キーワード：露天採掘 地球温暖化 二酸化炭素 低環境負荷 排出量削減 LCA GPS GIS

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化防止対策として、今後あらゆる産業分野において、CO₂ (二酸化炭素) 排出量削減の取り組みが重要な課題となることが想定され、石灰石鉱業や骨材産業においても、CO₂ 排出量削減は至上命題になるものと思われる。そのため、原石採掘時に重機から排出される CO₂ 量や破碎・選別、製品運搬で排出される CO₂ 量を算出するツールを開発し、露天採掘および骨材生産に伴って発生する CO₂ の排出削減に関する LCA (ライフサイクルアセスメント) 手法を確立することが、低炭素社会づくりに貢献する上で重要と考えられる。

一方、地域との共生を前提とした“持続可能な開発”を継続するためには、環境への影響を十分に考慮した環境調和型・低環境負荷型の露天採掘システムを構築する必要がある。また、石灰石鉱業や砕石業は、従来から設備産業とも呼ばれ、重厚長大産業の典型であり、IT (情報技術) の活用や省力化・無人化が遅れている分野である。そのため、今後急速に進む少子・高齢化に伴う労働力不足に対応するには、旧来型のローテク産業から各種の IT を活用したハイテク産業への転換が不可欠である。

2. 研究の目的

本研究は、地球温暖化防止の一環として、露天採掘および骨材生産に伴って発生する温室効果ガスである CO₂ の排出削減に関する LCA 手法を確立し、低炭素社会づくりに貢献することを第 1 の目的とする。また、石灰石や砕石の採掘・生産において、地域との共生を前提にした“持続可能な開発”を継続するための環境調和型露天採掘方式への転換と、少子・高齢化、人口減少社会の到来に伴う労働力不足への対応を目指して、最新の IT (を) 活用した省力・低環境負荷型の露天採掘システムを構築することを第 2 の目的とする。

3. 研究の方法

研究方法は、最新の IT を活用した省力・低環境負荷型の露天採掘システムの構築と、露天採掘および骨材生産に伴って発生する CO₂ の排出削減に関する LCA 手法の確立に大別される。

(1) IT を活用した省力・低環境負荷型露天採掘システムの構築

次に示す基本コンセプトで、システムの構築を行った。

- GPS を搭載した重機の使用による省エネ・高効率・最適化採掘法の開発
- 環境調和型露天採掘計画立案機能の具備
- 安全性および合理化の追求
- 自然環境の保全
- 周辺地域の生活環境の保全
- 次世代型跡地利用法の提案

既存の採掘用重機に GPS を搭載することによって、省エネ稼働や高効率・最適化採掘を可能にするシステムの開発を行った。また、～ については、筆者のこれまでの研究成果を活用するとともに、技術的に確立された既存システムを利用することで、信頼性のある成果を得ると同時に、開発にかかる時間とコストを抑えることを基本とした。

(2) 露天採掘および骨材生産に伴って発生する CO₂ 排出量削減に関する LCA 手法の確立

露天採掘においては、森林伐採・剥土・穿孔・小割・積込・運搬等の各作業工程に応じた各種の重機が使用されており、各重機が排出する CO₂ の総量である現場全体の CO₂ 排出量を最小化することが重要である。そこで、各重機に搭載した GPS 受信機により稼働機械の位置確認を行い、作業工程を「見える化」して採掘現場全体の最適化を図るとともに、CO₂ 総排出量をリアルタイムに算出・評価できるツールを開発した。また、破碎・選別工程や製品の運搬過程で排出される CO₂ を算出するツールを開発した。

4. 研究成果

(1) IT を活用した省力・低環境負荷型露天採掘システムの構築

地形情報取得システムの構築

露天採掘場の稼働切羽は、採掘に伴い日々その形状が変化するため、地形測量を頻繁に行う必要がある。そこで本研究では、図1に示す現有の地上型 3D レーザスキャナーとトータルステーションを用いて、採掘切羽の状況を連続的・自動的に地形測量を行い、地形情報をリアルタイムにデジタルデータ化できるシステムを構築した。



図1 地形情報リアルタイム測量システム

露天採掘場で稼働する重機のリアルタイム位置情報取得システムの開発

露天採掘における剥土・穿孔・小割・積込・運搬等の各作業工程で使用されるブルドーザー、クローラードリル、パワーショベル、ホイールローダ、原石ダンプに GPS を搭載し、各機械の稼働位置やサイクルタイムを「見える化」して把握できるシステムの開発を行った。

図2は、原石ダンプトラックにモバイル型 GPS を搭載し、これをタブレット PC (iPad)



図2 リアルタイム位置情報取得システム

と Bluetooth によるペアリングを行うことで、オペレータが運転席に設置したタブレット PC のモニター上で、原石トラックの走行・運搬軌跡をリアルタイムに把握できるシステムとした。

採掘場内の無線 LAN 環境の構築

で構築したシステムからの位置情報を作成管理室に設置したホスト PC に飛ばし、採掘場内の稼働重機を一元管理するシステムを構築するために、採掘場内の無線 LAN 環境の構築を試みた。

図3は、事務所のホスト PC と採掘場内に設置した無線ルーターを接続し、セカンダリーの WiFi ルーターとタブレット PC が接続可能な範囲を調べた結果を示したものである。ホスト PC とセカンダリー WiFi ルーターとの接続限界距離は、約 120m であった。また、セカンダリー WiFi ルーターとタブレット PC の接続限界距離は、90m であった。したがって、ホスト PC とタブレット PC の接続限界距離は、210m である。この範囲内であれば、で構築したシステムを用いて、露天採掘場内で稼働する重機に搭載した GPS からの位置情報を利用して、稼働位置やサイクルタイムを「見える化」して把握できるシステムが構築できた。



図3 採掘場内の無線 LAN 環境の構築

デジタル無線機を用いた位置情報管理システムの検討

で構築した採掘場内の WiFi 環境では、

室内用 WiFi ルーターを使用したため、接続可能距離が最大で 210m しかなく、採掘場全体をカバーする WiFi 環境を設定することは困難であった。そこで、電波法の改正により、2022 年 11 月 30 日をもって現在使用されているアナログ無線機が使用できなくなり、デジタル無線機が導入されることに着目し、デジタル無線機を用いた位置情報管理システムの検討を行った。

図4は、デジタル無線機を用いた位置情報管理システムのイメージを示したものである。原石ダンプの運転席に GPS 受信機を設置し、これにデジタル無線機を接続して、位置情報を GPS 衛星を介してホスト PC 上の地形図上に投影できるシステムを構築した。

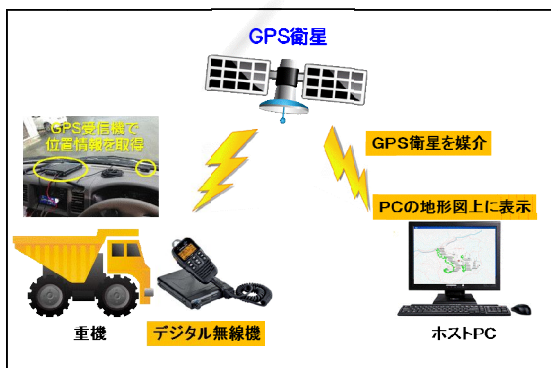


図4 デジタル無線機を用いた位置情報管理システムのイメージ

(2) “持続可能な開発”を実現するための環境調和型露天採掘方式の開発

露天採掘場周辺の動植物分布のデータベース化システムの構築

貴重な動植物への影響の軽減、生態系の基盤となる植生の回復、地域景観保全等を目指した環境調和型・低環境負荷型の露天採掘システムを構築するために、新規採掘場およびその周辺についての調査結果をデータベース化するためのシステムを構築した。

図5は、採掘場周辺の動植物分布を、地形情報を基盤としてデータベース化した例で、(a)は作成した計画地および周辺の 3D モデ

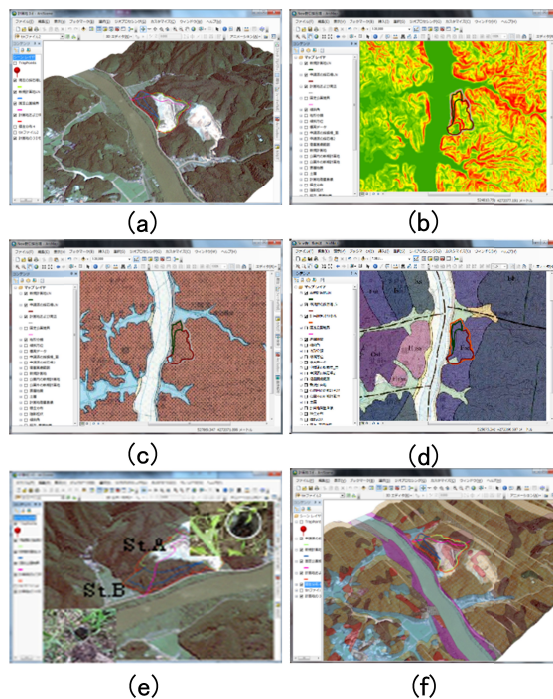


図5 動植物分布のデータベース化
 ル、(b)は傾斜角図、(c)は地形分類図、(d)は表層地質図、(e)は昆虫類について現地調査を行った場所とデータ、(f)は 3D モデルの上に植生分布をオーバーレイしたものである。

景観保全を考慮した露天採掘計画立案システムの構築

現地の臨場感を体験できるような全方位スクリーン呈示の景観評価実験法を開発し、これにパノラマ VR (Virtual Reality) 画像を使用し、シミュレーション評価が現地評価として機能するかについて検討した。図6に、全方位スクリーン呈示による景観評価実験の様子を示す。全方位スクリーンによる投影方法は、6面のスクリーンで全周を囲い、各スクリーンの上部にプロジェクターを設置して、上部からパノラマ写真・VR 画像を投影した。この方法により、極めて臨場感の高い景観評価実験が可能となった。

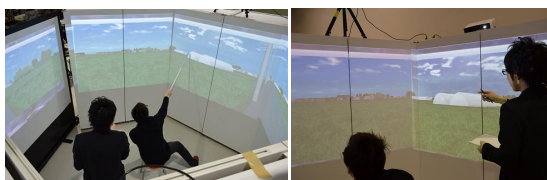


図6 全方位スクリーン呈示による景観評価実験

(3) 露天採掘および骨材生産に伴って発生するCO₂排出量削減に関するLCA手法の確立

図7に、骨材採掘・生産過程におけるCO₂排出量の『見える化』と、製品運搬過程におけるCO₂排出量削減システムの概要を示す。CO₂排出量の『見える化』およびCO₂排出量削減システムには、一般的な表計算・グラフ作成ソフトウェアであるExcel（Microsoft社）と、地理情報システムソフトウェアのArcGIS（ESRI社）を利用した。第1段階目のCO₂排出量の『見える化』は、それぞれの事業所がデータ入力し、リアルタイムで結果が確認できるシステムとした。出力結果を確認し、CO₂排出量の削減が必要と判断した場合は、第2段階目のCO₂排出量削減システムを利用する。CO₂排出量削減の検討過程は、CO₂排出割合が最も大きい製品運搬過程とし、本研究では、大学でデータ解析を行った後、結果を各事業所へフィードバックするシステムとした。

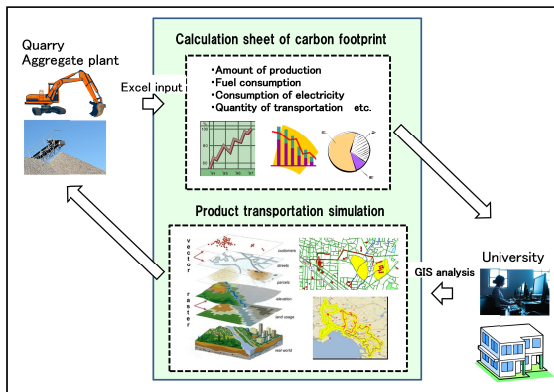


図7 CO₂排出量の『見える化』システム

図8に、CO₂排出量算出シートを示す。CO₂排出量算出シートでは、製品生産・運搬の各過程におけるCO₂排出原単位の算出が行え、各過程の生産効率を比較検討するツールとしても活用可能である。

試作したCO₂排出量算出シートの有効性を確認するため、東北地方で稼働中の砕石事業所5社に東日本大震災前後の2010年と

2011年の実際のデータを入力してもらい、操作手順の確認とCO₂排出量の算出結果やグラフ変換等の動作確認を行った。

Quantity of product		[ton]	Days of the operation		[days]	
Process of production						
		Consumption of light oil [ℓ]	Quantity CO ₂ [t-CO ₂]	Basic unit of CO ₂ × 10 ³ [t-CO ₂ /t]		
Stripping	Bulldozer					
	Backhoe					
	Hydraulic excavator					
Excavation	Others					
	Subtotal					
	Drilling	Crawler hydraulic drill				
		Crawler pneumatic drill				
Others						
Subtotal						
Rockbreaking	Hydraulic breaker					
	Others					
	Subtotal					
Loading	Wheel loader					
	Hydraulic excavator					
	Backhoe					
	Others					
Hauling	Subtotal					
	Quarry truck					
	Dump truck					
	Wheel loader					
Loading of product	Belt conveyor					
	Others					
	Subtotal					
	Others	Wheel loader				
Hydraulic excavator						
Backhoe						
Others						
Crushing plant	Subtotal					
	Electricity		Electric consumption [kWh]			
	Fuel		Fuel consumption [ℓ]			

図8 CO₂排出量算出シート

図9に、基本情報の入力により自動的にグラフ化された例として、CO₂排出量と製品生産量の経月変化例を示す。砕石事業者が自らデータを入力することで、生産・運搬過程におけるCO₂排出量の算出が自動的に行え、CO₂排出量の経月変化や各生産過程からのCO₂排出原単位などがグラフ化されるCO₂排出量の『見える化』システムが構築できた。

これらのシステムを利用することで、骨材生産・運搬過程におけるCO₂排出量削減に関するLCAを行うことが可能となった。

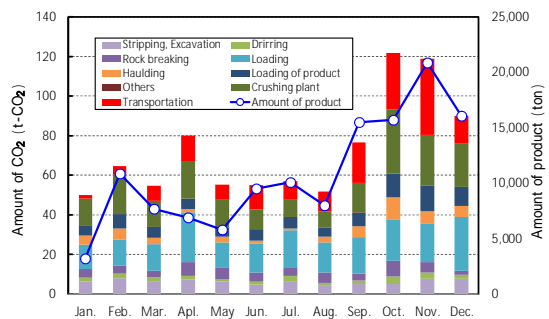


図9 CO₂排出量と製品生産量の経月変化

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 13 件)

大塚尚寛、持続可能な社会の構築に向けた骨材産業のあり方、骨材資源、Vol.47、No.185、2015 (掲載決定)

アイサジャン・ローズアジ、大塚尚寛、齊藤貢、採石場内稼働重機のリアルタイム位置情報取得システムの開発、碎石の研究、30 巻、2015、13 - 18

北條駿太、大塚尚寛、齊藤貢、全方位スクリーン呈示による露天採掘場の景観評価、碎石の研究、30 巻、2015、7 - 12

アイサジャン・ローズアジ、大塚尚寛、齊藤貢、小野寺祥記、採石場における GPS を搭載した原石ダンプトラックの稼働管理システムに関する検討、碎石の研究、29 巻、2014、12 - 16

大塚尚寛、レジリエントでスマートな次世代インフラの構築に向けて、骨材資源、Vol.45、No.180、2014、210 - 224

大塚尚寛、国土強靱化を目指す骨材資源のこれからについて、骨材資源、Vol.45、No.179、2013、139 - 148

Naohiro Otsuka, Mitsugu Saito, Development of the visualization system of carbon footprint on the aggregate supply in the reconstruction from the Great East Japan earthquake、Proceedings of Asia Pacific Symposium on Safety 2013、査読有、2013

大塚尚寛、震災復興における骨材の需要動向と今後の対応、骨材資源、Vol.45 巻、No.178、2013、73 - 79

大塚尚寛、震災復興における骨材の生産と供給、コンクリートテクノ、32 巻、7 号、2013、9 - 14

齊藤貢、大塚尚寛、大倉圭右、碎石生産における CO₂ 排出量の「見える化」および運搬過程における CO₂ 排出量削減シミュレーションシステムの検討、査読有、骨材

資源 Vol.45、No.178、2013、155 - 162

〔学会発表〕(計 16 件)

Aishajiang Rouziaji、Naohiro Otsuka、Study of LCA (Life Cycle Assessment) Method on the Reduction of CO₂ Emissions in Aggregate Production、2nd International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering、2015.7.20、Barcelona、Spain.

Aishajiang Rouziaji、Naohiro Otsuka、Development of real time location information acquisition system with Heavy machinery operating in quarry、資源・素材学会平成 27 年度春季大会、2015.3.29、千葉工業大学 (津田沼)

北條駿太、大塚尚寛、全方位スクリーン呈示による露天採掘場の景観評価資源・素材学会平成 27 年度春季大会、2015.3.29、千葉工業大学 (津田沼)

Aishajiang Rouziaji、Naohiro Otsuka、Study on operating management system of dump truck equipped with GPS in quarry、資源・素材学会平成 26 年度春季大会、2014.3.28、東京大学生産技術研究所 (東京)

大倉圭右、齊藤貢、大塚尚寛、CO₂ 排出量「見える化」システムを利用した震災被災地への碎石運搬シミュレーション、資源・素材 2012 (秋田)、2013.9.13、秋田大学 (秋田)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大塚 尚寛 (OTSUKA, Naohiro)
岩手大学・工学部・教授
研究者番号：40133904