

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 12 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23560986

研究課題名(和文) 露天掘り鉱山採掘跡地におけるバイオマス燃料の安定供給を目指した環境修復工法の開発

研究課題名(英文) Development of Environmental Reclamation Method by Using Biomass Fuel at Open-pit Coal Mine

研究代表者

島田 英樹 (Hideki, Shimada)

九州大学・工学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：70253490

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：資源開発に伴う環境修復の中で最も問題となっているAMD問題および採掘跡地の再緑化に関して現状把握を行い、環境修復に対する課題および今後の指針に関して検討した。まず、AMD問題に対する現状把握のため既設ダンプサイトの調査を行った結果、AMD抑制を考慮した設計がなされておらず、AMD発生が進行した状況であることが明らかとなった。しかし、岩石の風化作用によって生成される2次鉱物である粘土鉱物が、酸素や水の浸透を防止する物質ともなることが期待され、この性質に加え、酸緩衝作用を有するフライアッシュ等の積極的な導入によりダンプサイトにおけるAMD抑制が可能となることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：Geochemical characteristics and the increase in the total reactive surface area of the AMD. The study of the changes of geochemical characteristics of sulphide-bearing rocks showed that the oxidation process in waste rock dump in 10 years was more advanced than that of 2 years. As the results of mineralogical investigation, the weathering is easy to accelerate around the surface of dumping area due to climatic conditions and acidification by oxidation of sulphides. Moreover, the study showed that the formation of clay minerals after the weathering processes took place at the dumping area, suggested that the generation of AMD would be minimized because the interior of the waste rock dump provided a barrier to oxygen and water. Moreover, some additional countermeasures should be taken into consideration at the same time such as the dumping method of waste rock and application of low-permeable layer.

研究分野：総合工学

科研費の分科・細目：5603

キーワード：露天掘り石炭鉱山 リハビリテーション 採掘跡地 再緑化 剥土 植栽基盤 鉱山排水問題 地盤評価

1. 研究開始当初の背景

露天掘り鉱山開発では、熱帯雨林の消失や河川の汚濁など周辺環境へ多大な影響を与えることが懸念されるため、環境修復に向けた効果的な対策としてリハビリテーションプログラムを事前に検討する必要がある。本来、リハビリテーションの目的は自然系の回復であり、採掘跡地を自立した土地として再生することであった。しかしながら、現在その目的は単なる自然環境の再生のみならず自然景観を重視する修景緑化や、農作物や繊維資源など産業用途のための採掘跡地の有効利用へと変化してきている。採掘跡地の土壌は、一般に植物の生育基盤として劣悪な条件にあるため、採掘跡地の効率的な再緑化のためには適切な土壌管理および植栽種の選定が重要となる。

2. 研究の目的

本研究では上述の条件を満たし、バイオマス燃料の安定供給を目指す第一歩として、良質な繊維資源としての有効利用が期待される植栽種としてカジノキに着目し、採掘跡地におけるカジノキの適用に関して検討するため現場調査ならびに人工気象室内での生育試験を行った。

3. 研究の方法

(1) 現場概要

本研究では、採掘跡地に埋め戻された土壌の基礎特性を把握するため、インドネシアの露天掘り石炭鉱山である Kaltim Prima Coal 鉱山（以下 KPC 鉱山）より、開発前の森林土壌とリハビリテーションエリアにおいてそれぞれ土壌試料を採取し、土性調査とコンシステンシー試験を行った。

土性調査結果を表 1 に、コンシステンシー試験結果を図 1 に示す。KPC 鉱山では森林土壌を植物の生育基盤としてリハビリテーションエリアに埋め戻しているが、表 1 よりリハビリテーションエリア土壌の土性は森林土壌の土性と異なり、多様化していることが分かる。これは表土の埋め戻しの際に発生する攪乱や廃石の混入などが原因であると考えられる。また、一般に植物の生育は土壌の物理性に大きく影響を受けることが知られており、図 1 より土性の違いによって土壌の物理特性が異なることが分かる。

これらの結果より、多様な土性を再現した土壌を用いて人工気象室内でのカジノキの生育試験を行うことにより、カジノキの生育に適した土壌に関して検討を行った。

表 1 土性調査結果

Soil Sample	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)
Natural forest	10	30	60
Rehabilitation area1	75	8	17
Rehabilitation area2	22	30	48

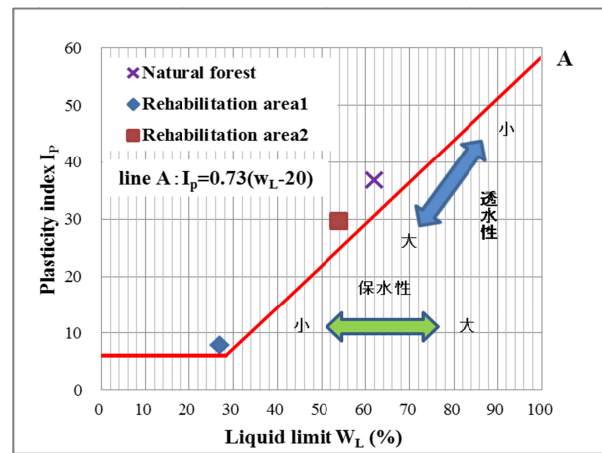


図 1 現場土壌のコンシステンシー試験結果

(2) 人工気象室内生育試験

カジノキの生育に適した土壌に関して検討するために、砂と粘土を表 2 に示す割合で混合した土壌を用いて人工気象室内生育試験を行った。また、各土壌に対しコンシステンシー試験、変水位透水試験、土の陽イオン交換容量（Cation Exchange Capacity、以下 CEC）試験^{2), 3)}を実施し、生育試験土壌の基礎特性の把握を行った。

人工気象室内生育試験条件を以下に示す。まず、直径 15cm のプラスチックポットに表 2 に示す割合で砂と粘土を混合した土壌試料を詰め、そこに高さ約 4cm のカジノキ苗を植えた。インドネシアの熱帯雨林気候を考慮し、室温 30℃、湿度 70% の恒温恒湿条件の人工気象室内にプラスチックポットを設置し、3 日～4 日おきに 1 つのポットに対して 500mL 灌水を行い、週 1 回 1,000 倍に希釈した液肥を与えた。生育経過は 1 週間おきに 8 週目まで観察を行い、生育試験終了後に根の観察を行った。なお、生育試験には 1 土壌試験区あたり 5 本のカジノキ苗を用いた。



図2 生育試験の様子

4. 研究の成果

生育試験土壌の基礎特性の把握のために行った各種試験結果を表2に示す。また、第8週目までのカジノキ苗の高さ、茎の径および展葉枚数の計測結果を図3、4および5に示し、生育試験を終えたカジノキ苗の地上部と根の乾重量を図6に示す。図中の同項目に表示した異なるアルファベットは、試験結果の差異が偶然から生じたものではなく有意なものであることを明らかにするために行った Tukey-kramer の多重比較検定（有意水準 $\alpha=0.05$ ）による有意差を示す。ここで、「有意差がある」とは比較対象群間に偶然から生じたとは認め難い差があることを意味する。計測結果より、経過時間に伴い有意差がより顕著に現れているため、生育土壌の違いによるカジノキ苗の成長の差異が確認された。

第8週目のカジノキ苗の高さと茎の径は良い相関を持ち、Soil4とSoil5の土壌において大きく、Soil1とSoil7の土壌において小さくなる傾向を示した。このことから、カジノキ苗の成長は土壌の基礎的な性質である透水性、保水性、保肥性などを植栽基盤として適切に有する土壌整備を行うことにより促進

されることが考えられる。

展葉枚数は土壌の粘土の割合が高くなるに伴い増加する傾向を示しており、第8週目にはSoil7とSoil5の土壌において特に高い値を示した。この結果から展葉枚数はCEC値と良い相関があり、植物の生育に必要な肥料分の影響を受けると考えられる。

根の乾重量は土壌の砂の割合が高くなるに伴い増加する傾向を示していることが分かる。この結果から根の乾重量は土壌の透水係数と良い相関があり、植物の生育基盤となる土壌の透水性の影響を受けると考えられる。植物の根系は斜面の崩壊を抑制する作用を有すると考えられており、根系の発達により斜面の安定性が改善されることが期待される。したがって、植物の根の生育の観点からもりハビリテーションエリアに埋め戻される土壌の土性を適切に管理することが重要である。さらに、図7に示すようにSoil1とSoil7では生育形態に差異が確認され、Soil1では垂直方向へ成長し、Soil7では水平方向へ広がるような成長が確認された。これはSoil1の透水性が高いため根の伸長が容易であり、さらにCEC値が低いため展葉枚数は減少したと考えられる。

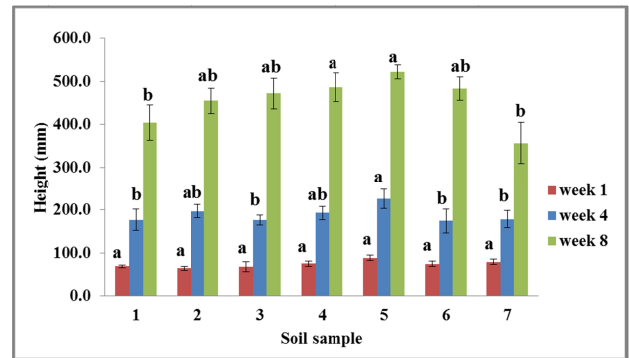


図3 カジノキ苗の高さ

表2 生育試験土壌の組成および基礎特性

Soil Sample	Sand(%)	Clay(%)	Liquid limit W_L %	Plastic limit W_P %	Plasticity index I_P	Coefficient of permeability (cm/sec)	CEC (cmol/kg)
Soil1	100	0	28.3	Np	-	8.770×10^{-4}	10.55
Soil2	85	15	33.7	14.8	18.9	3.491×10^{-4}	11.12
Soil3	75	25	40.7	22.6	18.1	2.431×10^{-4}	13.07
Soil4	65	35	45.2	18.2	27.0	1.443×10^{-4}	15.42
Soil5	55	45	52.3	20.1	32.3	8.250×10^{-5}	16.48
Soil6	40	60	57.1	22.5	34.6	3.450×10^{-6}	20.70
Soil7	0	100	67.2	23.6	43.6	1.000×10^{-7}	26.39

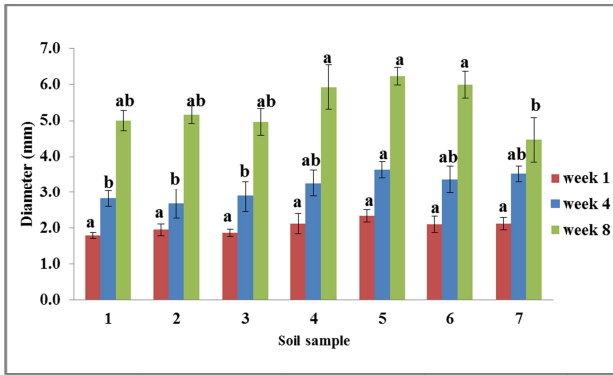


図4 茎の径

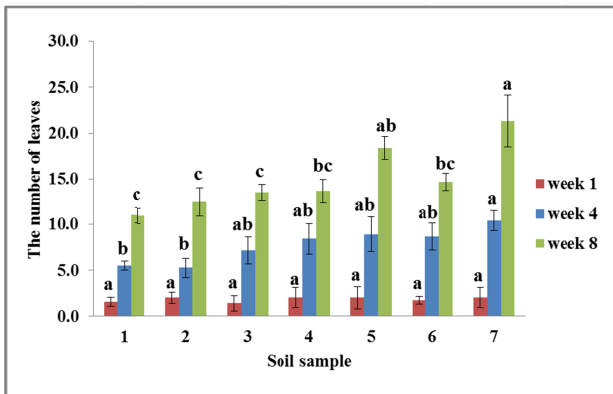


図5 展葉枚数

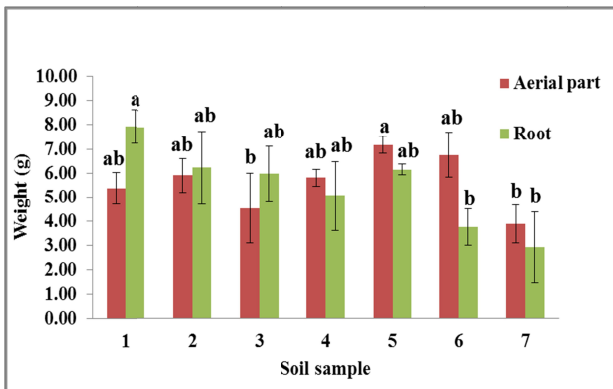


図6 地上部と根の乾重量

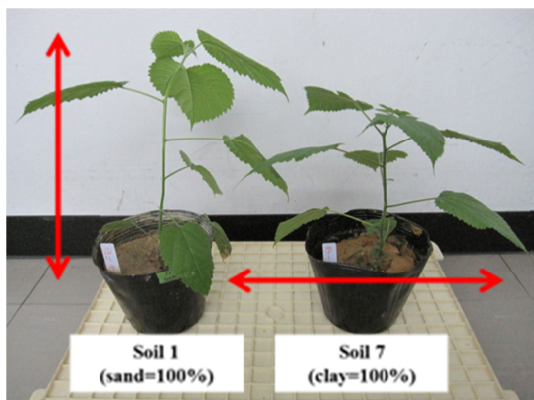


図7 カジノキ苗の生育形態の差異

一方、Soil7 は Soil1 と対照的な性質を有するため、カジノキ苗の高さは低くなり展葉枚数は増加して図7 に示すような成長をしたと考えられる。植物の良好な生育には垂直方向への成長だけでなく、光合成量の増加をもたらす水平方向への成長も必要であるため、植物は垂直方向へ高く、豊富に展葉する生育形態が望ましいと考えられる。

以上のことから、適切な透水性、保水性、保肥性を有し、カジノキ苗の高さ、展葉枚数および根の乾重量がそれぞれ高い値を示し、適切な生育形態を示した Soil5 の性質を有する土壌がカジノキの生育に適すると言える。

以上のことから、本研究によりリハビリテーションエリアに埋め戻された土壌は土性の多様化により土壌の物理特性が異なっていたが、それらの違いが生育植物の地上部および根の成長に影響を及ぼすことが明らかとなった。したがって、リハビリテーションエリアに埋め戻される土壌に関して適切な埋め戻し施工および土壌管理を行うことでカジノキのより効率的な生育が可能となると考える。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

K.Hiroto, G.J.Kusuma, H.Shimada, T.Sasaoka, K.Matsui, R.S.Gautama, B.Sulistiano, Effect of Mineralogical Transformations on AMD Prevention at Waste Rock Dumping Site, Proc. of International Symposium on Earth Science and Technology 2011, 査読有, 2011, pp.137-140

A.Hamanaka, G.J.Kusuma, C.Nugraha, T.Sasaoka, H.Shimada, I.Miyajima, S.Fujita, K.Matsui, Fundamental Study on Application of Paper Mulberry for Rehabilitation of Surface Coal Mine in Indonesia, Proc. of International Symposium on Earth Science and Technology 2011, 査読有, 2011, pp.419-422

H.Shimada, G.J.Kusuma, K.Hiroto, T.Sasaoka, A.Hamanaka, H.Takamoto, S.Fujita, K.Matsui, Laboratory Evaluation of Multi-Layer Cover to Control Acid Mine Drainage in the Coal Mine Waste Rock Dump, Proc. of the 20th International

Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, 査読有, 2011, pp.1335-1349

S.Maryati, H.Shimada, A.Hamanaka, T.Sasaoka, K.Matsui : Determine Appropriate Post Mining Land Use in Indonesia Coal Mining Using Land Suitability Evaluation, Journal of Novel Carbon Resource Sciences, 査読有, Vol.5, 2012, pp.33-38
H.Shimada, G.J.Kusuma, K.Hiroto, T.Sasaoka, K.Matsui, R.S.Gautama, B.Sulistianto, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 査読有, Vol.26, No.1, 2012, pp.74-89

G.J.Kusuma, H.Shimada, T.Sasaoka, K.Matsui, C.Nugraha, R.S.Gautama, B.Sulistianto : An Evaluation on the Physical and Chemical Composition of Coal Combustion Ash and Its Co-placement with Coal Mine Waste Rock, Journal of Environmental Protection, 査読有, Vol.3, No.7, 2012, pp.589-596

Y.Chen, H.Shimada, T.Sasaoka, A.Hamanaka, K.Matsui : Research on Exploiting Residual Coal around Final End-walls by Highwall Mining System in China, International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 査読有, Vol.27, No.3, 2013, pp.166-179

A.Hamanaka, H.Shimada, T.Sasaoka, K.Matsui, I.Miyajima : Fundamental Study on Revegetation of Post Mine Surface by Paper Mullberry in Open Cut Mine, Proc. of the 8th International Forum on Strategic Technology 2013, 査読有, Vol.1, 2013, pp.550-554

H.Shimada, A.Hamanaka, T.Sasaoka, K.Matsui : Relation between Fluidability of Flyash Cement and Properties of Fly Ash Particles, Open Journal of Geology, 査読有, Vol.3, No.3, 2013, pp.216-221
濱中晃弘, 島田英樹, 笹岡孝司, 松井紀久男, 一ノ瀬政友 : インドネシア露天掘り石炭鉱山におけるダンピングサイトの現状と今後の課題 - 酸性鉱山排水問題に着目して -, Journal of MMIJ, 査読有, Vol.130, No.1, 2014, pp.9-15

[学会発表](計5件)

濱中晃弘, Ginting Jalu KUSUMA, 島田英樹,

笹岡孝司, 松井紀久男, 宮島邦夫, 一ノ瀬政友 : インドネシア露天掘り石炭鉱山における AMD 問題と廃石が植生に及ぼす影響に関する検討, 資源・素材学会春季大会, 2012年3月, 東京
濱中晃弘, 岡崎 臣, 島田英樹, 笹岡孝司, 松井紀久男, 一ノ瀬政友 : インドネシア露天掘り石炭鉱山跡リハビリテーションにおける土壌浸食予測のための実験的検討, 第13回岩の力学国内シンポジウム, 2013年1月, 沖縄
松本親樹, 濱中晃弘, 島田英樹, 笹岡孝司, 松井紀久男, 一ノ瀬政友 : インドネシア露天掘り石炭鉱山における AMD 抑制に向けたダンピングサイトの形成に関する検討, 資源・素材学会春季大会, 2013年3月, 東京
井上直也, 濱中晃弘, 島田英樹, 笹岡孝司, 松井紀久男, 宮島邦夫, 一ノ瀬政友 : 露天掘り鉱山の採掘跡地におけるカジノキを用いた再緑化に関する検討, 資源・素材学会九州支部春季例会, 2013年5月, 熊本
濱中晃弘, 井上直也, 島田英樹, 笹岡孝司, 松井紀久男, 宮島邦夫, 一ノ瀬政友 : インドネシア露天掘り石炭鉱山におけるカジノキを用いた再緑化に関する検討, 資源・素材関係学協会合同秋季大会, 2013年9月, 札幌
濱中晃弘, 井上直也, 宮島郁夫, 島田英樹, 笹岡孝司, 松井紀久男, 一ノ瀬政友 : インドネシア露天掘り石炭鉱山跡地における環境修復の取り組み - カジノキ(Broussonetia Papyrifera)を用いた再緑化 -, 農業生産技術管理学会, 2013年10月, 鳥取

[その他]

ホームページ等

<http://rock.mine.kyushu-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

島田 英樹 (SHIMADA, Hideki)

九州大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号 : 70253490

(2) 研究分担者

笹岡 孝司 (SASAOKA, Takashi)
九州大学・大学院工学研究院・助教授
研究者番号：20444862

松井 紀久男 (MATSUI, Kikuo)
九州大学・大学院工学研究院・教授
研究者番号：30136535