研究論文

乾燥地植林による炭素固定システム構築 — 土壌構造改良による炭素固定促進 —

Establishment of a CO₂ Fixation System by Afforestation of Arid Land — Enhancement of Carbon Fixation by Technologies of Soil Structure Modification —

山田 興 • 小 島 紀

雄*** · 安 部 征

江 頭

Koichi Yamada

Toshinori Kojima

Yukuo Abe

Yasuyuki Egashira

 \mathbf{H} 内 裕 Hiroyuki Tanouchi

伸 橋 Nobuhide Takahashi

野 濱

 \mathbb{H} Kiyotaka Tahara

Hiroyuki Hamano

(原稿受付日2005年1月5日, 受理日2005年6月23日)

Abstract

Afforestation is one of the most promising measures to mitigate global climate change. However large-scale afforestation areas are limited to unused or ineffectively-used arid type lands. In the present study, two new technology systems for modification of soil structure were introduced at an arid area in Western Australia. It was demonstrated that the water permeation and root development were accelerated by blasting hardpan layer. Its effects on the tree growth rate were most remarkable for E. camaldulensis with vertical root development. The other new technology system introduced was utilization of thin surface soil layer for planting. The water content was drastically increased and kept high even by small precipitation and the tree growth rate in the area was demonstrated to be high. The CO₂ emissions by the introduction of these technologies were estimated to be less than one several-tenth of the fixed CO₂. The cost for CO₂ fixation by the hardpan blasting was estimated to be around 15,000 yen/t-C, which will be expected to be reduced by its optimization. The potential CO2 fixation in the whole area of Western Australia by this method was more than 1Gt-C.

1. 緒言

1997年にCOP 3 で採択された京都議定書が、2005年 2 月 には発効する運びとなり、二酸化炭素 (CO2) を中心とする 温室効果ガスの削減に向けた具体的対策の立案, 実施が急 務となっている. 種々の対策技術の中で、植林による炭素 固定は、持続的であり経済的かつ環境に与える負荷が低い 方法として期待されている. しかしCO₂削減対策としては

*成蹊大学特別研究招聘教授

E-mail: yamada@st.seikei.ac.jp

工学部応用化学科教授

〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1

*** 筑波大学農林工学系教授

〒305-8572 茨城県つくば市天王台1-1-1

****大阪大学大学院基礎工学研究科助教授

〒560-8531 大阪府豊中市待兼山1-3

*****(独)森林総合研究所森林植生研究領域室長

〒305-8687 茨城県つくば市松の里1

******信州大学繊維学部助手

〒386-8567 長野県上田市常田3-15-1

*******成蹊大学特別共同研究員

〒180-8633 東京都武蔵野市吉祥寺北町3-3-1

*******(独)産業技術総合研究所ライフサイクルアセスメント

研究センターチーム長

〒305-8569 茨城県つくば市小野川16-1

規模の大きさが重要であり, 大規模な植林のために必要と なる土地の確保が必須である. そのため, 他の土地利用と の競合がなく, 地球上にかなりの大面積を有しながらも, 未 利用のまま放置されている乾燥地, 半乾燥地が有望である. しかし、これらの土地では樹木の成長にとって必要な水が 不足しており、ただ植えたのでは成長は望めない。また、 水不足以外にも樹木の成長にとって不利となる高塩分,低 栄養塩、高硬度土壌など乾燥地特有の環境条件を有してい る. それらの不利な条件を最小限の投入エネルギーで改変 し, 少ない降雨を最大限に利用することが, 乾燥地での緑 化にとって重要である. これまでにも乾燥地の緑化に関し て多くの要素研究がなされてきたが、また本研究場所であ る西オーストラリアでも炭素固定の可能性について報告さ れている¹⁾が、CO₂削減対策として持続的な炭素固定を達成 するために総合的, 定量的に実施された例は少ない.

乾燥地への大規模植林により持続的な炭素固定システム を構築するためには、降雨、蒸発、表面流出、土壌構造、 地形,水文,植生,塩などに関する多くの要素研究の再構 築とその統合が必要である. 我々はこのような総合的な研 究を,平均年間降雨量200mmの西オーストラリア内陸乾燥 地で開始し(科学技術振興機構,戦略的基礎研究,1998~ 2003年),現在も一部継続して計測している.本論文はその 研究成果の一部として、緑化を促進するために実行した土 壌構造の改良の効果、およびその成果の広域乾燥地への適 用可能性について述べる.

2. 実験地

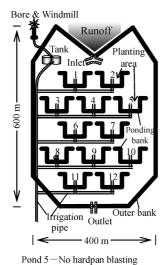
2.1 概要

実験地であるSturt Meadowsは,西豪州の州都Perthより 東北東に約600kmのLeonora近郊,南緯28°53′,東経121° 45′に位置する50km四方の地域である.詳細は前報²に 譲り,概要のみ述べる.ほぼ中心に塩湖があり,北東部お よび西部に標高差100~150mの丘が存在する.平均気温は 1月で約30℃,7月で15℃程度である.年平均降水量は約 200mmの冬雨型である.

Moore and Perryの植生図®によると、Acacia (以下初出時以外は属名はA.のように略記)低木林地域とEucalyptus低木林地域の境界の混生地とされる。大部分の地域の土壌浅層に低透水性のハードパンが存在する®ため、降雨の多くが流出してクリークを伝い塩湖へ流入する。水条件により裸地・草地(傾斜地などの表土浸食地)からクリーク沿いのE. camaldulensisの林冠閉鎖林まで幅広い植生が存在するが、多くは耐乾性が強いA. aneuraが優先し、主として疎林を形成する。塩湖周辺部には耐塩性低潅木の植生も混成する。この約50km四方の地域で調査を行うとともに、持続的乾燥地植林を可能にする新規な土壌構造改良法の導入・実証地を設けた。本報告では3植林サイトについて記す。

2.2 Site C (ハードパン上の植生が無い浸食地:1)

東から西へ下る緩やかな斜面上にあり、北と南を走る二本のワジに挟まれた流水域である。ほとんど植生が無い概ね15~20cm表土層の下に、数mの厚みのハードパンが存在する。ここに図1のレイアウトの土壌構造改良を施した。詳細は既に前報²⁰で報告しており、概要・補足のみ述べる。



All other ponds—hardpan blasting

図1 Site Cバンクレイアウト

外部集水バンクの内側に12個の桶形貯水バンク(40m×50m,以下内部をpondと呼ぶ)を等高線に沿って造成した.Pond 5を除くすべてのpondおよびoutlet近傍に,7m間隔で49の小穴を空け,爆薬によるハードパンの破砕を行った後,1999年7月にE. camaldulensis, Casuarina obesa, A. aneuraなど計11種,約700本の苗木を植栽した.サイト内より地下水を汲み上げ,1ヶ月ごとに全苗に潅水を行った.2~3ヶ月毎に毎木調査を行うとともに,土壌水分測定,樹液流速測定を行った.サイト内に気象観測設備を設置し,気温,湿度,日射量,風速,風向,パン蒸発量,降雨量の観測を行うとともに降雨時の流入流出水量を測定した.

2.3 Site T (ハードパン上の植生が無い浸食地:2)

Site TはSite Cと似た地形, 土壌構造の場所に同様の対策を施した区域であるが, 本報告ではそのうち幼苗を植林後, 1回のみ潅水を行ったpond 2中で, 苗を植えていない場所の結果のみを報告する.

2.4 Site E (岩盤上の植生が無い, 薄い土壌層地域)

本サイトは、20cm程度の薄い表土層の下に岩盤層を有する、低木と草だけがまばらに生えていた地域であった。岩盤の破砕は困難であったため、図2に示す土壌構造改良技術を導入した。図中薄灰色部分の表土を剥ぎ取り、これを下流側に盛り、等高線に沿ったバンクを造成した。岩盤が露出した部分では降水が浸透せず、集水された水は下流のバンクへ向かい、バンク上に植栽された樹木によって利用されると期待した。バンク幅は20m、土壌厚み(バンク高さ)は西側を90cm、東側を60cmとし、さらに流出を防ぐために各々ウィングバンクも造成した。集水域は中央南北方向のバンクにより二分割され、さらにフィンガーバンクにより各々4分割される。

各集水端に集まった水の植栽バンク内への浸透を促進するため、以下の2つの浸透法を導入した。(1) バンク後方まで水を誘導するため、側面に多数のスロットを有した長さ15m、直径約20cmのパイプをバンク内底部に埋設した。パイプ入り口は土砂の流入を防ぐために小石で覆った。(pipe bank) (2) 浸透面積を増加するため、長さ15m、最下部で約1 m幅のトレンチ(堀)を掘った(trench bank)。

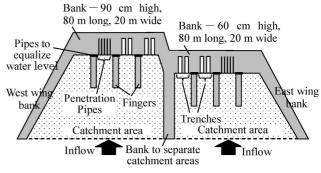


図2 Site Eバンクレイアウト

2000年 9 月に*E. camaldulensis*, *C. obesa*, *A. aneura*など 計200本の幼苗を植栽した. 植栽後 1 年間は活着のために 潅水を実施したが、その後停止した. およそ 3 ヶ月毎に毎 木調査を行った. また, 土壌含水率の測定を行った.

3. 実験方法

3.1 土壌含水率の測定

土壌含水率は、4本の探針を有するHydra土壌水分センサー(Vitel Inc., Australia)から得られる土壌の誘電率から、あらかじめ当該サイト土壌を用いて作成した校正式を用いて変換して求めた。併せて本水分計の出力から、温度および塩分濃度も計算した。出力データは1時間ごとにロガーに記録し、約3ヶ月毎に回収した。

Site Cではハードパンを破砕した植栽穴 (Pond 4,9),ハードパン非破砕の植栽穴 (Pond 5) 及びサイト上流部の裸地土壌,サイト下流部の裸地土壌に,各々深さ25cmから最大3mまでの間の数点に土壌水分センサーを設置した. Site Tでは裸地,無植栽破砕穴および植栽破砕穴中に設置した.

Site Eでは、西側はpipe bankおよびtrench bankに加え、比較区 (normal bank) に、また東側はnormal bankとpipe bankに、それぞれバンク上流部より下流へ向けて10mの位置で、深さ25cmからバンク最下部までで2~3点設置した。

3.2 樹木成長の測定

およそ3ヶ月毎に、全ての植林樹木の大きさ、すなわち 樹高、0.3mおよび1.3m地上高の幹周囲長、東西および南北 の二方向の樹冠幅を測定した。E. camaldulensis、C. obesaお よびA. aneuraについては別途破壊サンプリングを行い、上 述の大きさに関する測定項目と樹木各部位の乾燥重量との 関係(相対成長関係)を求め、この関係から各樹木の乾燥 重量を推定した。上記3樹種と同属の樹種についても、本 相対成長関係を用いて乾燥重量を推定した。樹木中の炭素 含有量は成分分析により0.477kg-C/kg-乾物という値を得て おり5、これから炭素固定量に換算した。

3.3 植林に伴う炭素排出量の推定

植林のためのハードパン破砕あるいは土盛りとバンク造成、その後の土壌整備に係る重機の燃料消費量、原材料(爆薬、セメント、フェンスなど)、労力、運搬の燃料消費などを記録し、コストと、LCA手法を用いたCO₂排出量を推定した。

4. 実験結果及び考察

4.1 ハードパン破砕大規模植林サイト (Site C, Site T)4.1.1 土壌含水率

約2年間の土壌含水率の変化の例を**図3,4**に示す.**図3** はSite C, Pond 9内の, *E. camaldulensis*が植栽されたハードパン破砕穴中の, 深さ25cm, 75cm, 150cmのデータである.

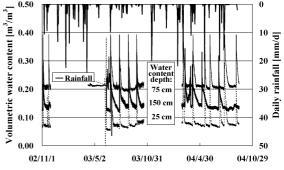


図3 土壌含水率変化(Site C, Pond 9, 植栽穴)

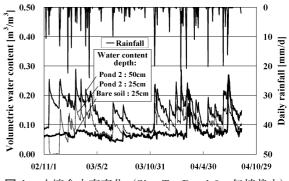


図4 土壌含水率変化(Site T, Pond 2, 無植栽穴)

図4は、Site Tの裸地部の不撹乱土壌(深さ25cm)、および Pond 2内の植栽されていない破砕穴(深さ25cm、50cm、無 潅水)のデータである。両図には日雨量データも示した。

図4中,裸地土壌中の含水率変化に注目すると,顕著な土壌含水率上昇を示したのは,それぞれ3日間で約35mmの降雨がもたらされた2004年3月と7月の2回のみであったことがわかる.この間20mm程度の降雨が数回起こっているが,25cmの深さまでは浸透していない.なお別途測定した裸地部の飽和透水係数は, 4.3×10^{-4} cm/sと低い.

一方、破砕穴については10mm程度の降雨でも、25cmばかりか、50cmの深さの土壌含水率も顕著な上昇を示した、ハードパン破砕に伴い土壌が撹乱されたことにより、土壌の透水性が改善され、少ない降雨でも浸透が生じた。

裸地部土壌ではしおれ点に相当する土壌含水率0.11m³/m³を上回ったのは2004年の3,7月の2回のみでそれ以外は植物が成長できない環境にあった。また蒸発についても,裸地部における蒸発速度は破砕穴と比べ4.7倍ほど大きい。その結果,破砕穴については,10mm以上の降雨ではしおれ点を上回る期間が5~22日間得られている。さらに,25cmでの含水率がしおれ点より下回る期間についても,それよりも深い土層はより高い含水率を示しており,ハードパン破砕により根の伸長が確認されていることから²,このような期間でも深部からの吸水が可能となると推測される。これらの点からも本法は土壌改良法として有効であることが推察される。

次に図3に示したSite Cでの植栽穴の土壌含水率変化に

ついて考察する. 2003年5月から10月の期間は約1ヶ月間 隔,2004年3月以降は約2ヶ月間隔で潅水しており、これ に呼応して定期的に含水率が上昇している. 一方天水につ いては、10mm程度の降雨に対しても深さ150cmまで応答 しており、植栽から5年近くが経過しているが、土壌の透 水性は高いと判断できる.しかし、植林樹木周囲の植栽穴 土壌表面で、シリンダーインテークレート法により測定し た飽和透水係数は1.2~8.9×10⁻⁴cm/sと裸地同様低かった. このことより、植栽穴中の土壌は、5年の間に降雨の浸透 と乾燥を繰り返すことにより、元の堅く締まった土壌に戻 りつつあることが判明した.一方、樹木の幹のすぐ周囲の 土壌で測定した飽和透水係数は6.4~17.7×10⁻⁴cm/sとなり、 透水性が保たれていた. さらに, Site Tの無植栽破砕穴内の 土壌含水率の変化と比較すると、Site Cの方が降雨時の含 水率の上昇及び低下が急激に起こっている。これらのこと から、樹木があることにより樹木の幹あるいは根伝いに降 水が浸透し、より深層への排水が起こっていると考えられる.

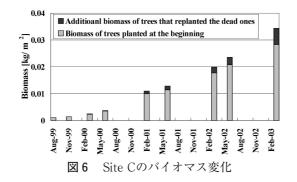
乾燥地植林でも、耕起による土壌の透水性改善は有効であるが、効果の持続性が問題であった。しかし、本植林試験から、不透水層を破砕し植物にとっての有効土層を拡大すれば、植林樹木が十分に根を発達させることができ、根伝いの浸透による土壌の透水性維持、ひいては持続的な植林樹木の成長が可能となることが示された。

4.1.2 植林樹木成長

図5は植林4年後のSite Cの空中写真である。大きいものは樹高が10mを超えた。相対成長関係と毎木調査の結果から推定した植林樹木毎のバイオマス(乾燥重量)変化の一例として、外側のバンクに囲まれたエリア内に植林され



図5 植林4年後のSite Cの空中写真



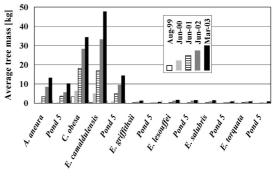


図7 樹種別乾燥重量変化

た樹木の場合を図6に示す. 1999年8月の植林時のバイオマスに比して、3年半で20倍以上になり、依然増加傾向にある. エリア全体のバイオマスは枯死木も含めて約0.03 kg/m²と小さいが、これはエリア内面積に比して植栽面積が約2割程度しかないためである. Pond内のバイオマスは約0.15kg/m²と推定され、この時点で地球上の(半)沙漠の平均バイオマスと同程度になっている⁶.

図7に植林樹木1本当たりの平均乾燥重量変化を樹種別 に示す、ハードパン破砕を行っていないPond 5とそれ以外 に分けて平均値を示す. なお, C. obesaはPond 5に植栽さ れていない. Pondにより流入する降雨量に若干の差はある ものの、潅水頻度及び潅水量は概ね等しく、ほぼ同じ水条 件で生育したと考えられるが、成長速度は樹種によって大 きく異なった. 本植林試験に用いた主要樹種の中では, 成 長速度が大きい順にE. camaldulensis, C. obesa, A. aneuraと なった. Pond 5とそれ以外では, E. camaldulensisの成長速 度が大きく異なり、ハードパン破砕の効果が顕著であった が、A. aneuraについては顕著な差は見られなかった. これ らの差異は、既に報告した樹種による根の張り方の違い20 により説明される. すなわち, 第一に数mまで深く根を張 るE. camaldulensis, 第二に2m程度であるが亀裂にまで根 が入り込むC. obesaに効果が現れ、根が表層にしか広がら ないA. aneuraの場合にはある程度の土層厚みが望ましいも のの破砕の効果はほとんど見られない。また、ハードパン 下には粘土分を含んだ土層も確認されており、破砕によっ て根がその土層に到達することにより、水条件だけでなく、 利用できる栄養塩量が増加するという点もハードパン破砕 がもたらす利点の一つとして考えられる.

4.2 表土剥離盛り土サイト (Site E)

4.2.1 土壌含水率

図8にSite E東側の60cm高植栽バンクにおける土壌含水率変化を示す。植栽バンク内への浸透促進技術を導入しないnormal bankでの含水率は、この期間内に2度の大幅な上昇を示した。2001年2月は二日に渡り100mm以上の降雨がもたらされ、サイト周囲から流出した降雨がSite Eに流れ込み、長期間に渡り湛水した。そのためSite Tの裸地部の

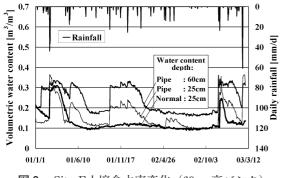


図8 Site E土壌含水率変化(60cm高バンク)

含水率変化で見られた降雨後の蒸発による急激な含水率低下はみられず、高含水率状態が1ヶ月程続いた。2002年11月の降雨は4日間で35mm程度であり、湛水により含水率は上昇したが湛水深さは浅く浸潤を蒸発速度が上回り、含水率は速く低下した。

一方, pipe bank内の含水率は,20mm程度の降雨でも劇的に上昇し,pipeの効果を明確に示した.normal bankではこのような上昇は見られないことから,水はパイプによりバンク内に侵入し,毛管力により上昇したと推測できる.

Site Eのように元来の表土層が薄く、またその下に破砕不可能な岩盤がある地域では、表土層を厚くすることは有効であるが、それに加え、湛水した降雨をバンク内へ浸透させることが必要である。なおtrench bankでも、土壌内への浸透促進が確認されたが、pipe bankに比べ効果は小さい。これは掘削のための土壌量減少、表面積増大による蒸発量増大により説明されよう。

4.2.2 樹木成長

図9は植林後約4年経過したときのSite Eの中央のバンク上の植栽樹木の様子である. 植栽樹木の成長は順調で、



図9 植林開始4年後のSite E

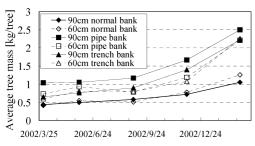


図10 様々な条件のバンクでのバイオマス変化

空中写真でも確認できた.

最も植林本数の多いAcacia属の測定結果から、浸透法の効果、バンク厚さの効果を検討した。図10に各区画に植栽された苗木一本当たりの平均乾燥重量の変化を示す。土層厚み90cmの結果を比較すると、成長量はpipe bankで最も大きく、次いでtrench bank、最後にnormal bankとなった。Pipe bankとnormal bankでは、平均重量は約2倍異なった。土層厚み60cmについてはtrenchとpipeとの差は小さいものの同様の傾向であり、浸透促進、特にパイプの効果が樹木の成長に対して有効であったことが示された。土層厚みの影響はさほど明確ではないものの、特にpipe bank間では厚みのある90cmバンクの方が成長量が大きかった。土層厚みが厚いほど蒸発が抑制されることの他、根域拡大に対する影響が、成長した樹木で顕著に表れたためと考えられる。

Site Eでは植栽1年後に潅水を停止したが、降雨と獲得した流出水のみで樹木は順調に成長を続けている。Site Eは土壌層の厚さが有限であり、樹種によっては成長の限界が現れる可能性もある。今後も観測を継続する必要があるが、破砕不可能な岩盤層を有する地域に対して有効な土壌改良法及び植林法であることが実証された。

4.3 土壌構造改良のためのコスト, CO₂排出量

4.3.1 ハードパン爆破法 (Site C) と土盛り法 (Site E) に よる植林のためのCO₂排出量

表 1 にSite CとSite Eの植林に際して使用した物品類と、日本での製造データを基準とするNIRE-LCA Ver.3 を用いてCO₂排出量を計算した結果を示す。Site Cでは、約9.1t-C、Site Eでは約2.5t-Cの排出となった。さらに使用したブルドーザー、トラック等を製造するためのCO₂排出量は工事のため消費した燃料起源CO₂排出量の10%としてこれを加えるとSite C、Eそれぞれ9.5t-C、2.6t-Cとなる。

4.3.2 植林のためのコスト

表1にはCO₂排出に用いた項目のコストに, 苗木, 使用機材経費 (減価償却, 税金など), 労務費を加えたコストを示した. 総労働時間は実際の植林の際の値, 単価は豪州の標準的値とした. トラック, ブルドーザー使用経費を20,000円/(日・機) (設備費の年経費率約30%に相当)とした. こ

表1 Site C, E造成, 植林に要した費用とCO₂排出量

		S	ite C			S		
	使用量・ 時間	排出量 [kg-C]	単価	費用 (千円)	使用量· 時間	排出量 [kg-C]	単価	費用 (千円)
ディーゼル油	5,410[1]	4,100	50[円/1]	270	1,210[1]	920	50[円/1]	60
爆薬	7,450[kg]	1,750	32[円/kg]	240	-	-		
セメント	5,000[kg]	970	10[円/kg]	50	-	-		
ポリエチレンパイプ類	3,050[kg]	1,040	1,000[円/kg]	3,100	2,680[kg]	870	1,000[円/kg]	2,700
鉄槽	3,490[kg]	1,240	100[円/kg]	350	1,910[kg]	680	100[円/kg]	190
岩石, 土砂	130[t]	0			120 [t]	0		
苗木	700[本]		80[円/本]	60	250[本]		80[円/本]	20
設備費				1,200				270
労務費	1,300		3,000	3,900	320		3,000	960
	[時間・人]		[円/(時間・人)]		[時間·人]		[円/(時間・人)]	
合計		9,100		9,170		2,470		4,200

2.500

1.70

66

22,000

合計

CO2固定効率(固定量/排出量)

CO₂固定コスト (円/t-C)

Site C (爆破法) Site E (土盛り法) 植林面積(m²) 140,000 15,000 植林本数(本) 7,000 750 1.050 113 CO₂固定量(t-C) CO₂排出量, 使用量 コスト 使用量 コスト CO₂ CO₂ 排出量 (千円) 排出量 (壬円) (t-C) (t-C) ディーゼル油 11[kl] 8.2 550 1.2[kl] 0.92 60 爆薬 25[t] 5.8 800 鉄柵 3.5[t] 1.2 350 1.9[t] 0.68 190 苗木 7,000[本] 560 750[本] 設備費 0.8 * 0.1% 540 2,400 労務費 4,000 12,000 550 1,650 [時間・人] [時間・人]

植林による炭素固定効率、コスト 表 2

16.0

れらを考慮したコストはSite Cでは9.170千円, Eでは4.200 千円と計算された.

16.660

4.3.3 単位CO₂固定のためのCO₂排出量, コスト

Site C, Eは実験的植林であるため面積当たりの植林本数 は少なかった、そこで表2のように、大規模に植林する場 合についても植林サイト単位は今回のSite C, Eと同じ面積 とした上で、4.5m平方間隔で植林する、すなわち苗木本数 は単位面積当たり0.05本/m²として植林本数を計算した.

我々が既に報告した水利用効率"を基に、30年間8での 成長量を150kg-C/本と見積った. なお, 実際Site Cでは1 本の木が4年間で既に11mの高さを越え約120kgのCを固 定している.

さらに大規模植林の際の樹木成長により固定される単位 CO2当たりの、植林のためのCO2排出量、コストを計算する ため、表1のデータを以下に改めた。①実験目的の潅水用 パイプ類及びセメントを除外、②今回の実験では爆破エネ ルギーの1%のみがハードパン破砕に利用されたことから, ハードパン破砕に用いる爆薬使用量は最適化により1/3, ③苗木植栽時間は習熟者についての実績から15分/本,④デ ィーゼル油、設備費については本数が多くとも若干増える だけとは思われるが、安全側にたち、今回の実績値の2倍

上記計算基準により計算した値を表2に併せて示す. CO2 固定効率(固定量/排出量)は両方法とも66倍と高く, CO2 コストはC1t当たり破砕法が15.900円, 土盛り法が22.000円 となり、目標とした10.000円に比べ高い値であった。今後の 研究による合理化を期待したい.

5. 西オーストラリアでのCO2固定ポテンシャル

今回開発した乾燥地植林法はCO₂固定法として持続性が あり、固定効率も高いものであった。 コストは若干高いが 合理化の余地があり、10,000円/t-C以下にすることも可能と

期待される. Site Eで実証した土盛り法については, 現在適 用可能地域面積のデータが不足しているため、今回はSite Cで実証した破砕法のみを西オーストラリア州の年間降雨 量200~300mm, 平均250mmの乾燥地(約1.1×106km², 2.75× 10¹¹t-降雨量/y) に適用した場合のCO₂固定量を計算する.

この地域で植物成長に使われずに流失, 蒸発する水量は 実験地Sturt Meadowsと同様に降雨量の30%とし、この水 を年間降雨量1.000mm相当になるようSite Cタイプの植林 地に集約した際のE. camaldulensisの水利用効率は0.5kg-C/t-水⁷⁾ とした. 集水に必要な全面積は2.75×10⁵km²であるが, ハードパン地域は西オーストラリアに約3.0×10⁵km²存在す る.30年間での成長の結果固定される全CO2量は、

 $2.75 \times 10^{11} [t-x/y] \times 0.3 \times 30[y] \times 0.5 [kg-C/t-xk] = 1.24 \times 10^{9} [t-C]$ となる.この量は全世界の年間CO₂排出量の約1/5となる.

6. 結言

乾燥地大規模植林による炭素固定を目的とし, 限られた 水を樹木の成長に有効利用するため、2組の新規技術を提 案、導入した、ハードパン破砕により裸地に比して降雨時 の土中への浸透が促進され、またその効果は樹木特に根の 伸長により持続されることが明らかになった. 成長速度に 与えるハードパン破砕の効果は、根が鉛直方向に伸び成長 が速いE. camaldulensisについてもっとも顕著であった. 一 方, 岩盤上の表層土を集めてバンクを形成, 植林したサイ トでは、湛水をパイプでバンク内部に導入する浸透促進技 術を組み合わせることにより、少量の雨で土壌水分が上昇 しかつ効果は長期間保たれた. また樹木成長速度にもこれ らの効果が見られた. これらの技術導入に伴い発生するCO2 は、期待される固定量の数十分の一であった。破砕法につ いては全コストはトン炭素当たり2万円程度と計算され た. 本技術を西豪州全域に適用することにより、1 Gt-C以 上の炭素固定が可能となる.

謝辞 本研究は科学技術振興事業団(現科学技術振興機構) の戦略的基礎研究の一つとして実施され、その終了後は環 境省地球環境研究総合推進費の補助の下で継続されている. 記して感謝する.

参考文献

- 1) CRC Greenhouse Accounting; Opportunities for the Western Australian Land Management Sector Arising from Greenhouse Gas Abatement, Final Report for Brief AGR131Q-02/03, Dec., (2003).
- 2) K. Yamada, T. Kojima, Y. Abe, M. Saito, Y. Egashira, N. Takahashi, K. Tahara, J. Low; Restructuring and Afforestation of Hardpan Area to Sequester Carbon, J. Chem. Eng. Jpn., 36, 3, (2003), 328-332.
- 3) R. M. Moore and R. A. Perry; Vegetation of Australia (Australian grasslands, Moore, R. M. eds.), (1970), 59-73, Australian univ. press.

^{15,900} *設備のCO₂排出量は燃料ディーゼル油の排出量の10%とした.

- 4) A. M. E Vreeswyk; Soils (An inventory and condition survey of rangelands in the North-eastern Goldfields, Western Australia technical bulletin 87., W. A. department of agriculture, South Perth), (1994), 98-117.
- 5) K. Yamada, T. Kojima, Y. Abe, A. Williams and J. Law; Carbon Sequestration in an Arid Environment Near Leonora, Western Australia, J. Arid Land Studies, 9, (1999), 143-151.
- 6) R. H. Whittaker; Communities and Ecosystems, (1970), 158, Macmillan & Co.
- 7) N. Takahashi, K. Tahara, H. Utsugi, T. Kojima, Y. Egashira, Y. Abe, M. Saito, K. Yamada; Water Use Efficiency of Eucalyptus camaldulensis Growing in Arid Regions in Western Australia, J. Chem. Eng. Jpn., 36, 4, (2003), 391-400.
- 8) G. W. Wardell-Johnson, M. R. Williams, A. E. Mellican, A. Annells; Floristic patterns and disturbance history in karri forest, south-western Australia 1. Environment and species richness., Forest Ecology and Management, 199, (2004), 449-460.

次号予定目次「エネルギー・資源」1月号(155号) (刊行: 平成18年1/5)

巻頭言〕			
	エネルギー・資源学会会長,兵庫県立大学	鈴木	胖
	エネルギー・資源学会編集実行委員長, 筑波大学	内山	洋司
新春座談会〕	5.17.7		71.3
	人 壮 李 武	請川	孝治
21世紀のエネルヤーを担う新しい	人材育成		
	三菱重工業㈱	佃	嘉章
	東京工業大学	藤井	靖彦
	大阪ガス㈱	松村	雄次
	(司会) 住友電気工業(株)	廣瀬	正幸
展望・解説〕			
	経済産業省資源エネルギー庁	堀尾	容康
水事の古座利用なはレールは結司	能社会への現実的な中間シナリオ東京工業大学	岡崎	健
		川川山	陡
特集〕	交通システムと省エネルギー		
(1)はじめに		石谷	久
	位置づけに関する内容経済産業省資源エネルギー庁	大江俊	
(3)自動車	世里 - いに成する[1日 一社 一社 日 日 日 日 日 日 日 日 日	八八八	띠사크
1 / 1 - 2 1	H, V- VA 1 W.	J. 111	₩ ⊥
	·················北海道大学	小川	英之
2)ハイフリッド目動車	・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	阿部	眞一
3)渋滞半減へのシナリオ		桑原	雅夫
(4)自転車	·····・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	中村	博司
(5)鉄道における省エネルギー技術	」」 一切 一切 一切 一切 一切 一切 一切 一切 一切	寺内	伸雄
(6)航空業界が挑戦する省エラルギ	`日太舶死僻	大佐さ	
(7)処とエラルギー	`— ······日本航空㈱ ······三菱重工業㈱	湯浅	和昭
- (//加Cエイルイー 研究整文]	二发里上耒(附)	防汉	イロドロ
·研究論文〕	1.70418	~~	π <i>ι</i> μ
新卑燃費同上施策としてのfeebat	resとその効果中央大学	谷下	雅義
	"	鹿島	茂
	東京都建設部	栗原	崇晃
	日本自動車研究所	湊	清之
ゼオライトヒートポンプを用いた	暖冷房・給湯システムに関する基礎的研究山口大学	山下	哲生
2.0 7 1 1 2 1 3.7 7 2711 V 72	2000年 1000 1000 1000 1000 1000 1000 1000	謝	学海
	<i>"</i>	121	
	<i>"</i>	+++	호기
ウミの電子が乗り出出 東口に じょ	八七	中村	安弘
家計の電力消費の世帯要因による		野村	昇
	分析 ····································		
技術報告〕	,	野村	昇
技術報告〕 <循環型社会を考えたマテリアル	・リサイクル②>	野村	昇
技術報告〕 <循環型社会を考えたマテリアル	,	野村	昇
技術報告〕 <循環型社会を考えたマテリアル	・リサイクル②>	野村稲葉中島	昇 敦 謙一
技術報告〕 <循環型社会を考えたマテリアル 新たな5つの指標とその計算手法	/ /リサイクル②> :東北大学	野村稲葉	昇 敦
技術報告〕 <循環型社会を考えたマテリアル 新たな5つの指標とその計算手法 書 評〕	・リサイクル②> ・	野村稲葉中島	昇 敦 謙一
技術報告〕 <循環型社会を考えたマテリアル新たな5つの指標とその計算手法 書 評〕 スモール・イズ・プロフィタブル	・リサイクル②> ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	野稲中醍醐	昇 敦 謙一 市郎
技術報告〕	・リサイクル②> ・	野村稲葉中島	昇 敦 謙一
技術報告〕 <循環型社会を考えたマテリアル新たな5つの指標とその計算手法 書 評〕 スモール・イズ・プロフィタブル (エイモリー・B・ロビンス他著,	リサイクル②> 東北大学 東京大学 山藤 泰訳, (財省エネルギーセンター発行) …東京ガス(株)	野稲中醍醐	昇 敦 謙一 市郎
技術報告〕 <循環型社会を考えたマテリアル新たな5つの指標とその計算手法 書 評〕 スモール・イズ・プロフィタブル (エイモリー・B・ロビンス他著,	リサイクル②> 東北大学 東京大学 山藤 泰訳, (財省エネルギーセンター発行) …東京ガス(株)	野稲中醍徳	昇敦 謙市 勉
技術報告〕	・リサイクル②> ・リサイクル②> ・ 東京大学 東京大学 ・ 山藤 泰訳, (財省エネルギーセンター発行) …東京ガス(株) エンジニアリング関西 ・ (神産業技術総合研究所	野稲中醍徳	昇 敦 謙一 市郎
技術報告〕	・リサイクル②> ・リサイクル②> ・ 東京大学 東京大学 ・ 山藤 泰訳, (財省エネルギーセンター発行) …東京ガス(株) エンジニアリング関西 ・ (神産業技術総合研究所	野稲中醍徳	昇敦 謙市 勉
技術報告〕	・リサイクル②> ・リサイクル②> ・ 東京大学 東京大学 ・ 山藤 泰訳, (財省エネルギーセンター発行) …東京ガス(株) エンジニアリング関西 ・ (神産業技術総合研究所	野稲 中醍 徳 宮上村葉 島醐 本 崎山	异敦 一郎 勉 憲一
技術報告〕	リサイクル②> 東北大学 東京大学 山藤 泰訳, (財省エネルギーセンター発行) …東京ガス(株)	野稲中醍徳宮	昇敦 一郎 勉 憲
技術報告〕	/ リサイクル②> 東京大学 東京大学 東京大学 山藤 泰訳, (財省エネルギーセンター発行) …東京ガス㈱ エンジニアリング関西 ――――――――――――――――――――――――――――――――――――	野稲 中醍 徳 宮上村葉 島醐 本 崎山	异敦 一郎 勉 憲一
技術報告〕	/ リサイクル②> 東京大学 東京大学 東京大学 山藤 泰訳, (財省エネルギーセンター発行) …東京ガス㈱ エンジニアリング関西 ――――――――――――――――――――――――――――――――――――	野稲 中醍 徳 宮上村葉 島醐 本 崎山	异敦 一郎 勉 憲一