

製品紹介

全自動植栽機械 D61EM-23

Full Automatic Planter D61EM-23

朝 香 洋 一
Hirokazu Asaka
米 澤 真 一
Shinichi Yonezawa

製紙パルプ原料生産としての造林事業のなかで、これまでほぼ人手に頼っていた苗木の植付け工程を省人化するための機械化する取り組みについてブラジルの製紙業界から協力要請を受けた。

今回コマツは、彼らの協力を得てワンマンオペレーションによる高速施工と衛星位置情報を用いた精密植栽が可能となる高速自動植栽機械D61EM-23を開発したので、その概要を紹介する。

Komatsu received a request from the Brazilian paper manufacturing industry for cooperation in their efforts to mechanize the planting of seedlings for raw paper pulp in their silviculture business that traditionally relied almost entirely on manual operation.

Accordingly, in collaboration with the industry, Komatsu developed the automatic, high-speed planter D61EM-23, which offers high-speed, one-man operation and precision planting based on satellite positioning information. An overview of the planter is presented in this paper.

Key Words: 自動植栽, D61EM-23, Planter, ブラジル, ユーカリ, 造林

1. はじめに

近年の世界的な環境意識の高まりを待つまでもなく製紙業界各社ではその原料を自給により調達してきた。

ブラジルではその成長が早いことからユーカリが多く用いられており、製紙工場の周りは広域にわたってユーカリの単層林で埋め尽くされている。植林規模はブラジル全土で830万ha（2016年）にもおよび、仮に6年毎の収穫とするなら年間140万ha程度の広大な圃場に苗を植え続ける必要がある計算となる。

その栽培はクローン技術による最適種の選抜大量生産や完全機械化による効率的な伐採と搬出など、ほぼ工業化されていると云ってよいが4～8年周期で繰り返される苗の植付け作業に限ってはほぼ完全に人手に頼ってきた。しかし昨今では、地力減退による圃場更新や業容拡大のための新植林地造成など、機会あるごとに現場は都市近郊部から遠隔僻地への移行が進み、元来が炎天下の苦渋労働であった植栽作業者の確保は賃金高騰をもってしても日々困難さが増し状況は猶予を待たなくなっている。

そんな中、かねてより伐採造材用林業機械メーカーでもあったコマツは、ブラジルの製紙企業の業界団体から造林（植栽工程）の機械化についての開発の要請を受けた。

このプロジェクトを考える中で、その中核となる全自動かつ高速施工できる機械を開発し、自動高速植栽機械『D61EM-23』

（図1）として発売したのでその概要についてこの機械を用いた植栽の手法とともに紹介する。



図1 D61EM-23 自動植栽機

2. 開発の目標と達成手段

植林用の圃場の多くは、ブラジルのなかでもユーカリの成長に適した中緯度地域の亜高原の丘陵地に展開されている関係で平坦とはいえず緩くうねった地形であること、雨季を除き乾燥して乾燥時期の植付けには幼木が安定するまで数回の灌水を行うのが通常であることなどから、緩傾斜（～10°程度とした）での作業ができ、また灌水用の水を携行できる構造とするのが望ましい、などの目標が現地調査から判ってきた。更に、建設機械や大規模農業機械でも一般化しつつある情報化施工技術と衛星通信技術を応用することで、精密施工、作業の見える化、植付けポイント位置情報の後工程への展開等が可能となるので、手植えに頼っていた従前の植栽工程を一気に近代化できると確信するに至った。

そのためには苗植えの前工程である地拵え（耕耘／畦立て作業（サブソイル）工程）も取り込み高度に機械化する（図2）ことで、ユーザ各社の期待に沿えるシステムのアウトラインが見えてきた。

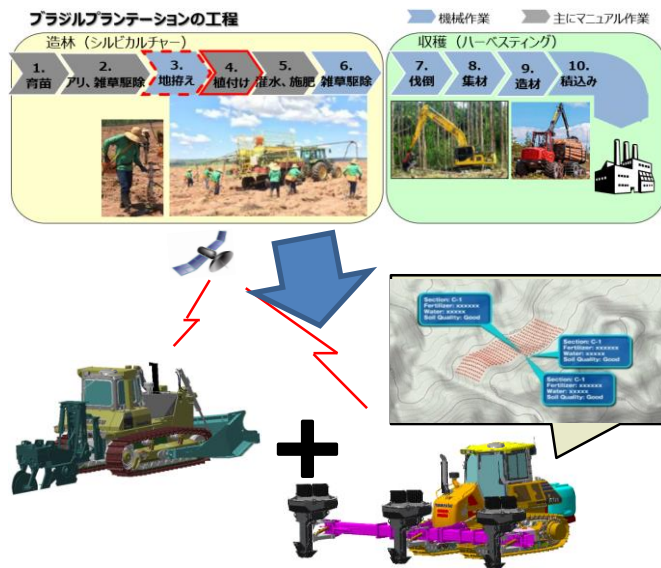


図2 造林作業の機械化

これをもとにして、開発する新しい植栽機械として以下のコンセプトを設定した。

自動植栽機；

(1) ワンマンオペレーションによる高速自動植付け

- ① 新開発の専用植付けユニット3連装着による高速自動植付け
 - ・ 評定速度900本/Hの高速植付け
 - ・ 大容量苗マガジン（196本/ユニット）による長時間連続稼働
- ② オートパイロットシステムによる自律走行
 - ・ GNSS位置情報による自律自動走行
 - ・ 植付け間隔の自動測距，自動停止運転

(2) 地拵え工程で用いるサブソイラ車の施工As-builtデータ利用による高精度植付け

- ① サブソイラ車のAs-builtデータ活用
 - ・ サブソイラ車のAs-builtデータから植付け位置を自動生成
 - ・ As-builtラインをトレースすることによる高精度植付け
 - ・ 自動畝幅調整機構による高精度植付け（ $\pm 150\text{mm}$ ）

(3) 植付け位置情報の記録

- ① 個々の苗に対する植付け位置情報の記録
 - ・ 植付け工程の作業進捗の見える化
 - ・ 灌漑工程の効率化（ピンポイント灌水）
 - ・ 将来の伐採収穫の自動化

コマツはこれに応えるため持てる製品群のなかから、十分な出力と自動制御化に親和性の高い電気制御，ならびに油圧駆動システムを備え持つブルドーザ；D61-23をベース機とすることを決めた。そして当時植栽アタッチメント分野では一日の長があったBracke Forest A.B.社（Bracke/Sweden）に植付け装置部分（ヘッド）の開発を委託，更にブラジルに於ける農業分野で衛星通信を使った位置情報制御とトラクタの自動運転で，広く実績のあったHexagon Agriculture社（Florianopolis, SC/Brazil）にも協力を仰ぎ開発協業体制を整えた。

3社による協業での開発とすることで，開発期間短縮と製品化後のサポートサービス体制の安定確保を狙ったからである。

新しい機械の外観の特徴としては，前述のとおりブルドーザをベースにしており，その排土板を廃して替わりに自動植栽アタッチメントヘッドを3基，長いビームを介して車体前方に配している（図1）。これにより通常3～3.5m間隔で造成される畝の3条をまとめて一度に植付けることができるので，これまで普及のネックとなっていた作業サイクルタイムの大幅な短縮を実現している。ビーム上には各ヘッド後方に作業デッキとそれらを繋ぐキャットウォークとを配して植栽ヘッドに苗を装填する際のアクセス性と安全性を確保している（図10）。

植栽ヘッドはビームに，上下昇降，左右揺動可能な平行リンクを介して取り付けられており，これらを電子的に油圧制御することで，各植付け位置の高低差，畝間隔のばらつきを個々に補正できる構造としている。

また本機は後部に牽引具と油圧取り出しポートを装備しており，灌漑用水を積載したタンクと灌水を圧送するポンプを備えたタンカートレーラを準備し，牽引させることで，植付けと同時に苗への灌水（ピンポイントで実施）を同時に実施することができる。更にはこのタンカートレーラに補充用の苗が入った苗箱を携行できるラックを備えておくことで，一定時間（3～4時間程度）の連続単独稼働に対応できるようにしている。

本機の主要諸元を表1に示す。

表1 主要諸元

諸元		D61EM-23 自動植栽機
運転質量	kg	21500
エンジン出力	kW (HP)	125 (168)
全長	mm	6920
全幅	mm	8800
接地圧	kPa	55.6
車速	km/h	前進：3.4 後進：4.1
自動制御内容	-	自動走行、自動操向、自動植付け
植付けヘッド数	基	3
対応畝間隔	m	3.0/3.5
携行苗数（ヘッド1基当たり）	本	196
定格植付けサイクルタイム	sec/cycle	12 sec/3 seedlings
評定植付け速度	本/h	900
植付け位置精度	mm	+/-200
苗当たり灌水量	L/seedling	Max. 3.0
携行灌水量	L	(使用者で準備)
灌水ポンプ用油圧取出し	MPa×L/min	10×35
運搬荷姿（長さ×幅）	mm	6770×2730 (ビーム分解)

3. 本機による機械化植栽の実際

3.1 地拵え（サブソイル）

多くの場合植林は前回の収穫が終わった伐採後の圃場で、2次（3次...）栽培として行われる。数年間ユーカリ林であった地面は一旦耕起し施肥（サブソイル）のうえ新しい苗を植えることになる。これらは従来装輪式トラクタで実施してきたが、ここでは圃場に点在する切り株の除去ができずにいた。今般コマツはブルドーザベースのサブソイル仕様車を提案している（図3）。サブソイル車は前方に装備したシェアブレードで切り株を剪断除去することができるうえ、後方の大径ハローディスクで土、地下の根を粉碎して畦を形成していく作業を1度に可能とするばかりか、車重により深耕が可能となるメリットがある。そしてこの作業時の畦立てラインの位置情報を記録し、後続の植栽機のガイドとして活用することで植栽機の施工ルートの設定作業の省略と正確な植付けが期待できるのである。



図3 D155EX-6 サブソイル仕様車

3.2 苗の植付け

D61EM-23による自動植栽作業の実際を、本機の特徴を中心に以下に説明する。

3.2.1 自動植栽装置

車体前方、ビームに取り付けられた植栽装置は、前述のようにBracke Forest A.B.社の開発である。

ベースは油圧ショベルのアタッチメントとして開発された植栽アタッチメント（「P11.a」）の発展型で、

- 1) ブルドーザベースのトラクタに多連装で装着し同時施工に対応するため、4節平行リンクによる昇降装置を追加
- 2) システムの軽便化のため苗搬送用の空圧圧送装置の廃止
- 3) 苗マガジン改良による装填苗総数の増量（＝連続稼働時間延長）
- 4) 3連装着のための統括制御ソフトウェアの開発を織り込んだ専用仕様となっている。図4にその外観を、以下にその作動概要を示す。

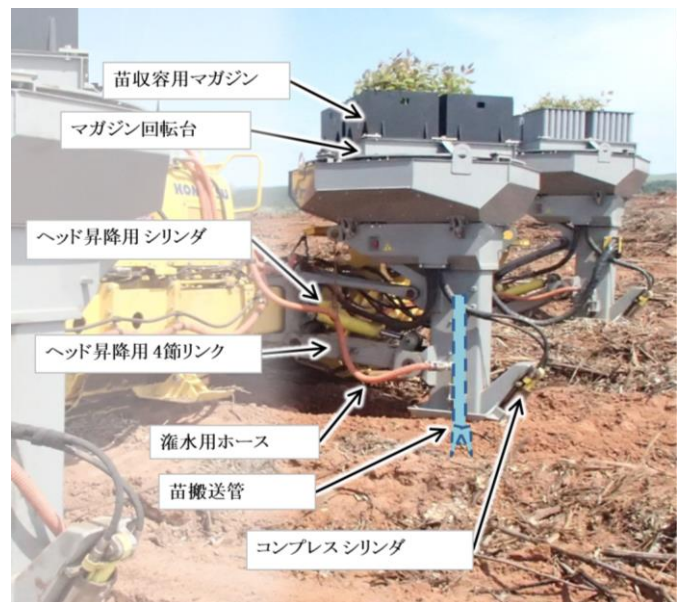


図4 植栽ヘッド 外観

植付け工程が始まると、植栽ヘッドは地面に当たるまで降下して止まり、止まると、苗搬送管が地面に挿入されて植付けの準備が完了する。苗はヘッドの最上部に7列×7列に1本ずつ仕切られた小室に計49本の苗をストックできるマガジンボックス内に搭載されており、植付けポイント毎にマガジンの小室底部のゲートをひとつずつ開いていくことによって、苗を1本ずつ搬送管内へ落下させるようになっている。マガジンは4箱装備されており、1マガジン内の49本を植え終わると、カーセルが回転し、次のマガジンが装填されて以下同様に、4箱計196本を一連に植え続けることができる構造となっている。

搬送管の下端に苗が届くと搬送管は引き上げられ苗だけが地中に残される。そして水が撒水されたのち、側面からシリンダで、水を含み泥状となった土を圧縮して苗を土中にしっかり固定させたのちヘッドを上昇、これで植付けの完了となる。

ヘッドがこの一連の動作を完了させるのに必要な時間は、わずか8秒である。

ヘッドが降下するとき地面に当ることによって窪みが形成されるがこれはそのまま灌水の貯水池となり、撒いた水の散逸を防ぎ植えられた苗に有効に利用されるため、苗の生存が向上することが確認されている（図5）。



図5 植えられた苗と灌水

3.2.2 自動植栽作業

3基すべてが植付けを完了すると、その結果とともに完了信号が自走走行コントローラに伝えられる。コントローラは、植付けポイントとその結果（植付け成功／エラー）とともに記録し、車輛制御モードを植付けモードから走行モードに切り替えて次の植付け地点を目指す。インプットされているサブソイルラインに沿って、あらかじめ設定された苗間ピッチ（植付け間隔）だけ進むと停止するが、この移動の間に左、右のヘッドについては、中央のラインに沿って走った自車の到達点から計算される左右ヘッドの位置と、左右のサブソイルラインとの幅方向のズレを是正するために左右のヘッドを左右に揺動させて修正を加える。この修正によって3本別々に造成されたサブソイルラインを、一度にまとめて植え付けても植付け位置のズレを最小限にすることが可能となる。

次の植付け地点までの測距と移動にかかる時間は植付けピッチの設定にもよるが、約4秒である。

自車の移動結果を衛星通信による位置情報の変化として得るのはまわりくどくばらつきも多いがベースとしているブルドーザがそもそも走行距離を測る手段を持たないが故の次善の措置である。

サブソイルライン上には通常施肥が施されており、植えられた苗がこのラインから30cm以上離れると、肥料の恩恵が受けられないと云うのだが、本機による施工では、概ね $\pm 15\text{cm}$ には収まる（図6、図7）ので実用上問題はないとしてユーザからも了解を得られている。

もちろんサブソイルライン施工時の施工精度（平行度）が植付けピッチ精度にとって重要なファクタとなるのは云うまでもない。

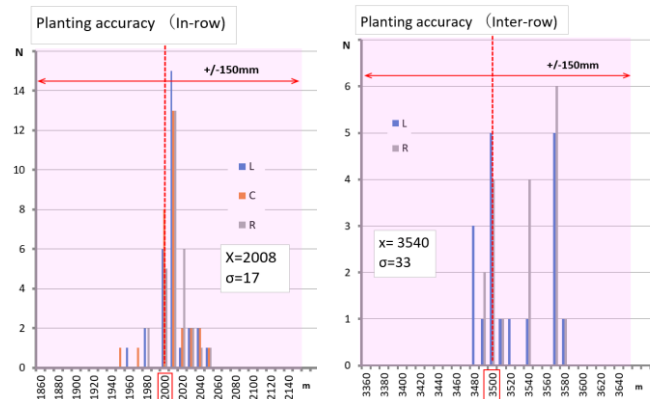


図6 苗植付け位置精度
（植付けピッチの例）

図7 苗植付け位置精度
（畝間距離の例）

3.2.3 灌水用タンカートレーラと撒水

上述のように実は撒水は苗木の育成のためだけではなく、植えられた苗の根の廻りの空気を抜くことにより、苗の根付きを良くし植付け後の苗の生存率を上げるための方法としても重要である。

現在広く実施されている人手による植付けでも、この工程は植付け作業者の足による踏み固めという方法で実施されているのだがその品質にはばらつきがあって、植付けの品質は本機による施工のほうが優れているという評価である。

このように灌水は別工程と切り離すわけにはいかないのだが、一方でユーザ各社のヒアリングによると、現場の気候や土壌、植付け時の季節等の諸条件により、灌水量は0.6～5L/本と変動幅が大きく収拾がつかない。このため、充分と思える容量のタンクをトラクタに積載することは断念し、本機には散水コントロールバルブは準備するものの、水タンクはトレーラとしてユーザ殿各社での施工状況に応じて準備してもらったものを牽引して運行すること（図8）として、その牽引具と圧送システムのための油圧源のみを準備している。



図8 タンカートレーラの例

また、灌水は近隣の河川や湖沼が取水源であり、運搬には大型タンクローリー車が使われるのが一般的であるが、補給される水の水質は千差万別で、時には砂礫やごみが混じっていることが確認できたので搬送回路はスラリー耐性が必要と判断して機器の選定をしている。

3.2.4 作業中の苗の補充

植栽ヘッドの苗マガジンの搭載量は、196本であるが12秒サイクルでこれを繰り返すと連続稼働時間は40分程となる計算であり、植付け苗ピッチを2m（標準的なピッチ）と設定していた場合には392m植え付けると、マガジンの苗はすべて消費されてしまい機械は「苗切れ」を発報して停止する。

一方ブラジルの植林圃場は広大で、その畝の長さは通常500～700m程度、長い時は1km以上続くことも珍しくないため、圃場の真ん中で苗切れを起こしてしまうことは普通に覚悟しなくてはならない。

そこで今回我々は方策として灌水トレーラに棚を設けて予備の苗を携行することとしたが、この補充のために作業者が伴走しているわけではない（ワンマンオペレーションにならない）のでこの作業はオペレータの仕事となる。これまで、マガジンの50ほどの小室に1本ずつ苗を挿入する構造であったが本機ではその数が196本×3基（＝598本）と多いので補充に時間がかかりすぎる大きな問題となった。

この対策として、最初に考えるのはマガジンの容量を増やすことであるが、それにはおのずと限界があり、また装填苗数の増加は一度苗切れを起こすと再装填に更なる時間がかかることもあって、もどかしいジレンマが待っている。

そこで今回は解決策として、新たに補充用の通し箱を「レフィルボックス」として導入することにした。

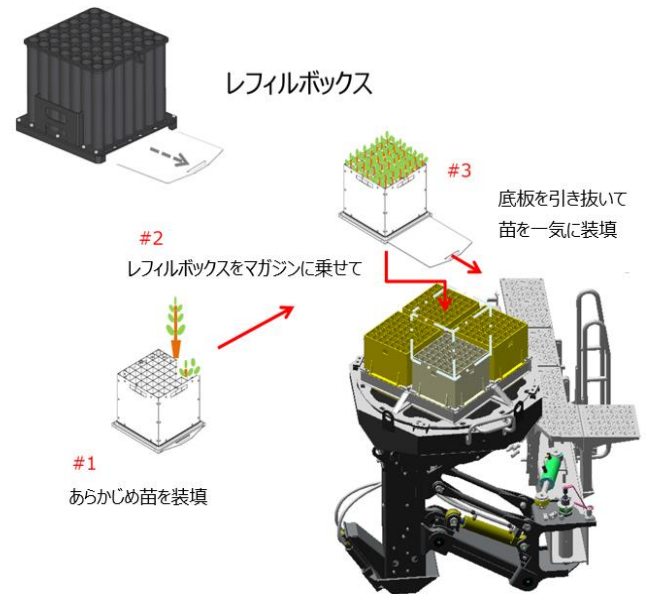


図9 レフィルボックスとその用法

この箱は植栽機のマガジンと同じ配列で49本の苗を格納できるようになっており、また最大の特徴はその底板を引き抜ける構造としていることにある。

また、作業者による可搬性向上のため、レフィルボックスは樹脂製として軽量化を優先、苗を入れても総重量は12kg以下を実現している。

この箱にあらかじめバックヤードで苗を装填したものを準備しておき、これを多数携行すれば、圃場での補充はこの箱をマガジンの上に重ね置き、その底板を引き抜くことで瞬時に49本の補充が完了できる。全量補充には一度に12箱が必要となるが、一人で実施しても再装填時間は大幅に短縮可能である（図9、図10）。



図10 レフィルボックスによる苗補充

この補充が25分で完了できるとするならば、3回分の予備（36箱）を携行することで、4時間（半日）の植付け作業はオペレーター一人に任せての連続稼働が可能となる。この場合彼の半日の仕事量は、2352本と計算できる。これを現在の人海戦術による手植え（10人程度がチームを組み、横1列に並んで1本ずつ植えて行くのが一般的）の場合と比較すると、約5人分の仕事量と等価である（2016時点）と試算される。

またユーザ各社は機械の場合は昼夜兼行作業も可能と考えている様で、更なる効率化のため実際夜間の試験的稼働も行われている。

苗の初期灌水量を3Lと決めれば、この半日分の作業に携行する必要がある灌水総量は約7kLとなり、圃場不整地を牽引するトレーラのサイズ／重量としてはほぼ限界となることから、この「7kLのタンカートレーラに36箱のレフィルボックスを積んで、牽引し半日稼働する」形態はそのままモデル作業形態とすることができることが判った。

欲を言えば、この時の圃場の畝の長さを800mほどに揃えられと携行した苗、水を使い果たして、本機はUターンして元の出発地点の10m隣に戻ってこられるので、次回の再出発準備に都合が良い事になるのだが、そこまでの圃場改造は現実的には難しいかもしれない。

3.2.5 自動植栽機械に使用する苗

ユーザ各社の現場での実稼働評価試験では、このほか苗の品質が大きく問題となった。

本機では植栽ヘッドの頂部に位置するマガジンから苗は自重落下で植えられるのだが、苗の根部分はその時のガイドであり、錘でもあるので適度の密度と硬度が必要であることが判った。疎であり、または柔らかい根の苗では、しばしばヘッド内で苗詰りが発生して植付けが成功しない場合が確認され、大きな問題となった。

またあまり枝ぶりの良い（繁茂した）苗も、搬送管内通過の抵抗となることもあるなど、これまでの手植えの場合よりも均質な苗を準備する必要がある。

この植栽機械用苗の品質問題に関しては、ブラジルのサンパウロ州立大学（Universidade Estadual Paulista）の造林機械化研究室にも協力を仰ぎ、苗の規格化について試行を続けた結果、苗の根部分については、ペーパーポッドの使用が苗つまりの回避に非常に効果がある事がわかり、ユーザへ推奨していくこととなった。

Seedling for Planter machine

Seedling requirements

Length: ~ 35 cm

Root: ~ Ø 3 cm

Enough **hard root and straight stem.**

In addition to regular plants, it is also excellent to plant biodegradable plugs or similar with this.

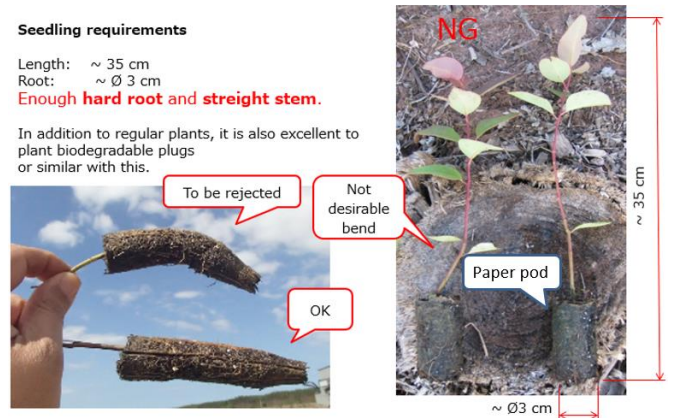


図11 苗の品質

4. おわりに

本機はブラジルの製紙業界の有志各社の惜しみない協力を得て開発を完了させ、発売にこぎつけることができた。その裏には各社の喫緊の課題としての労働者不足が窺い知れる。しかし発売したもののじつはユーザとしても本機導入には、苗の問題を取っていてもわかるように、従来からの植林の作業システム自体を見直す必要があることが課題として残っている。既に効率とコスト面では実力を証明したと自負しているが、本機導入のために各社が自社の現場の改革にメスを入れるかどうかの決断が待たれる処である。

しかし時代はそんな彼らの躊躇を待たないのも事実で、ブラジルの造林業界にとって、環境問題、労働力問題に一石を投じた機械としての洋たる未来を確信している。



図12 新車発表会場でデビューのD61EM-23

筆者紹介



Hirokazu Asaka

あさ か ひろ かず
朝香洋一 1983年, コマツ入社.

開発本部 車両第三開発センタ所属



Shinichi Yonezawa

よね ざわ しん いち
米澤真一 2008年, コマツ入社.

開発本部 車両第三開発センタ所属

【筆者からひと言】

国籍, 言葉, 製品分野, 企業規模/風土…なにもかもが違う人々との共同開発であったので今までにないやりがいを感じた。調査や試作車の試験のために訪れたブラジル各地の造林現場での, 議論の数々, 酌み交わされた累々たる杯が, 今では何物にも替え難い財産である。

携わったすべての人々に改めて大いなる謝意を表したい。