

|              |                                                                                                                                                   |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | 間伐材等中低品質無垢材による巨大建築と自治体（室戸屋内野球練習場建設の取り組み）                                                                                                          |
| Author(s)    | 今井, 克彦                                                                                                                                            |
| Citation     | 年次学術大会講演要旨集, 32: 392-397                                                                                                                          |
| Issue Date   | 2017-10-28                                                                                                                                        |
| Type         | Conference Paper                                                                                                                                  |
| Text version | publisher                                                                                                                                         |
| URL          | <a href="http://hdl.handle.net/10119/14878">http://hdl.handle.net/10119/14878</a>                                                                 |
| Rights       | 本著作物は研究・イノベーション学会の許可のもとに掲載するものです。This material is posted here with permission of the Japan Society for Research Policy and Innovation Management. |
| Description  | 一般講演要旨                                                                                                                                            |

## 間伐材等中低品質無垢材による巨大建築と自治体 (室戸屋内野球練習場建設の取り組み)

今井克彦（株式会社森林経済工学研究所）

はじめに

高知県東部の室戸市で2016年末に竣工した間伐材等中低品質材による超大型ドームは、南海トラフ大地震を想定した大規模防災拠点であると同時に、平時には屋内ドーム球場として利用されている（以下、室戸ドームと略する）。この新たな取り組みについて、2013年7月のコンペ当選、企画段階、原木調達、木材の乾燥、製造法の改善、部材製作、現場での組み立てまでの経緯を解説する。その時々様々な障害をいかに乗り越えて、完成に至ったかを振り返ることは、国産材の高度利用に通じ、地方創生の選択肢として、大いに示唆を与えるものと自負する。新たな技術をめぐっては、実現性が乏しくても、勇ましく、キャッチーな話には、マスコミも官僚も学界も、興味を示し、飛びつく傾向がある。一方、具体化に見通しがたった技術の採用に関しては、尻込みするきらいがある。木材の現場でも、画期的な技術であっても、従来と異なる考え方に対しては、極めて保守的だ。何もしなければリスクはない。時には足を引っ張ることすらある。しかし、国産材を利用・活用して、日本の林業を再生していくためには、こうした保守性を乗り越える必要がある。室戸ドームの物語は、そうした取り組みの一例である。

### 1. 背景

我が国の森林問題は、間伐が進んでいないため木材が過剰に蓄積されていることである。現在、約41億 $\text{m}^3$ が、人工林に蓄積されており、28億 $\text{m}^3$ が要伐採量である。一方、現在の可能伐採量は、年間2000万 $\text{m}^3$ で、なお年率3%（1.2億 $\text{m}^3$ 余り）で増加している。間伐促進と高付加価値化による有効利用は、地域経済活性化だけでなく森林環境改善に寄与すると同時に大きな可能性を秘めていると考えられる。我々の研究によるとほぼ100%構造材などに有効活用できることがわかっているので緩やかな経済発展の要素の一つになりうると考えられる。

木が多すぎるのが問題という外国では考えられない状況となっている。逆に適正に管理すると生産性の良い森林となる可能性がある。

これは、我が国の地勢学的な特異性が大きく関係している。大陸東岸の中緯度モンスーン地帯で日本海のような大きな閉じた水面があることが特徴で、世界中で唯一である。夏季の十分な降雨量と共に山岳地帯での世界屈指の冬季の降雪量が重要である。このような降雪は、徐々に溶けて地中に浸み込み10年程度かけて湧水となって出てくる。日本列島には、巨大なダムが存在していることになる。十分な日照、温度と豊富な水、加えて大陸由来の酸性雨に対する強い緩衝力を持った土壌などが極めて高い植物生産性に寄与している。



写真-1 平均的林相  
(10-12本/アール)



写真-2 手入れの良い杉林  
(約4本/アール)

### 2. KiTruss システムの概要

室戸ドーム建設に採用されたトラスシステム（KiTruss）の概要を図-1及び表-1に示す。節だらけの木材が上級材と何ら遜色なく使えるという新発見がきっかけである。乾燥亀裂は、そのままとし、何らの改質処理を施していない。木口に打込んだラグスクリューを引っ張ると木材部分ではなく金属であるラグスクリューが切断するという画期的研究結果に基づき、鉄骨トラスに匹敵する構造パフォーマンスとこれを凌駕する経済性を達成した。

部材の丸棒は、杭などを製造する普遍的な丸棒加工機により製造されるので高い歩留まり率となっている。木材は、端部を切断するだけの簡単加工で誰がやっても精

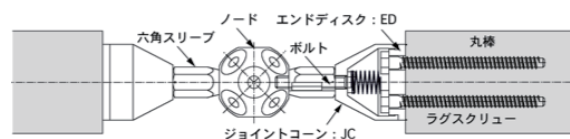


図-1 KiTruss の接合システム

度確保が簡単なようになっている。芯持ちのムク材であればヒノキ、スギ、カラマツのいわゆる間伐材等の中低品質材で良い。

木口は、材軸に直角に切断後、ラグスクリューを打ち込む穴をドリルで開ける。次にエンドディスクをセットし、ラグスクリューを締め込む。部材端接合部品は、積層型構成なので組み立てるのが容易で部材長精度が出し易い。

木材長さは、±0.1mm の精度を持つクロスカットソーで切断される。手順に従って作業すれば特別な技術が無くてもスペースフレームに必要な高い精度が得られる。

### 3. プロポーザル応募から本設計、部材製作工程作成へ

計画・デザインに加えて、プロポーザル時（2013/6）の内容の特徴は、屋根形状の設計自由度の高さ、小中径木の直接利用、エコマテリアル、地域での生産、錆びないので耐久性が高くメンテナンスフリー、鉄骨トラス並みのコストなどである。

地元の富士鍛工（株）で本設計（2014/4）の報告会を開催した。参加者は、高知県会議員、室戸市会議員、県森林組合連合会、富士鍛工（株）、芸東建設（株）の関係者である（写真-3）。

席上、伐採計画、木材の乾燥計画、丸棒の製作法、部材製作の全体工程について説明した（表-2）。トラス用必要原木量などは表-3 に示す通りである。

プロポーザル決定後に行った自然乾燥試験（写真-4）についても報告した。自然乾燥は、木に優しく理想的な乾燥法であると共に省エネルギーである。ヒノキの太鼓落とし材を6ヶ月間自然乾燥した時の含水率の推移を調べたものである（図-2）。

表-1 KiTruss のシステム範囲

| トラス Bolt | M8 | M10 | M12 | M16  | M20 | M24 | M30 |
|----------|----|-----|-----|------|-----|-----|-----|
| 木材径      |    |     |     |      |     |     |     |
| 40       | 40 |     |     |      |     |     |     |
| 50       | 40 |     |     | 金物外径 |     |     |     |
| 60       |    | 46  |     |      |     |     |     |
| 80       |    | 56  | 56  |      |     |     |     |
| 100      |    | 74  | 74  |      |     |     |     |
|          |    | 56  |     |      |     |     |     |
| 120      |    |     | 92  | 92   |     |     |     |
|          |    |     | 74  |      |     |     |     |
| 150      |    |     |     | 110  | 110 |     |     |
|          |    |     |     | 92   |     |     |     |
| 180      |    |     |     | 140  | 140 |     |     |
|          |    |     |     | 110  |     |     |     |
| 200      |    |     |     |      | 167 | 167 | 167 |
|          |    |     |     |      | 140 |     |     |
| 220      |    |     |     |      | 167 | 167 | 167 |
|          |    |     |     |      | 140 |     |     |
| 220      |    |     |     |      |     | 197 | 197 |
| 240      |    |     |     |      |     | 197 | 197 |
|          |    |     |     |      |     | 167 |     |
| 270      |    |     |     |      |     | 197 | 197 |
| 300      |    |     |     |      |     | 197 | 197 |
| 350      |    |     |     |      |     | 197 | 197 |



表-2 全体計画工程図

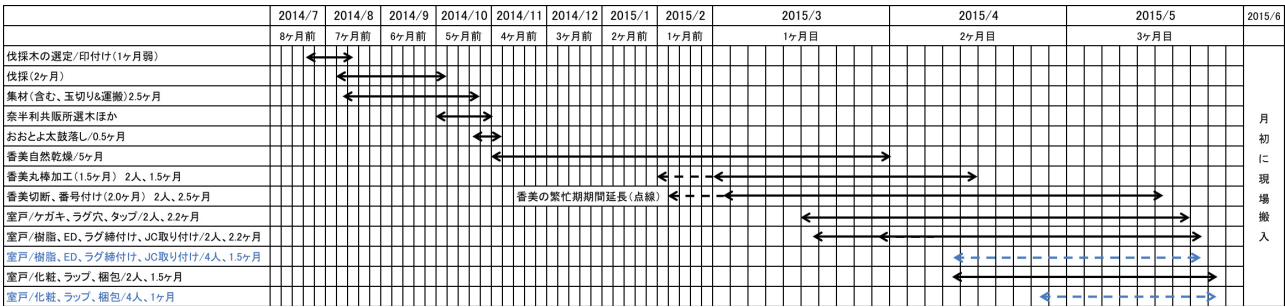


写真-3 本設計報告会

表-3 必要原木材料及び加工丸棒数など

|            | 丸棒<br>サイズ | 長さ   | 部材<br>本数 | 丸棒径<br>m | JC,ED<br>直径 | 必要長<br>m | 取数<br>係数 | 定尺<br>m | 原木<br>本数 | 定尺丸棒<br>体積m3 | 原木<br>末口径 | 4面<br>太鼓落とし<br>二面幅 | 原木体積<br>m3 |
|------------|-----------|------|----------|----------|-------------|----------|----------|---------|----------|--------------|-----------|--------------------|------------|
|            |           |      |          |          |             |          |          |         |          |              |           |                    |            |
| 室戸<br>組立て  | φ120      | ≦3   | 436      | 0.12     | φ92         | 2.65     | 1.0      | 3       | 436      | 18.84        | φ170      | 140                | 37.80      |
|            | φ150      | ≦3   | 712      | 0.15     | φ110        | 2.78     | 1.0      | 3       | 712      | 48.06        | φ190      | 170                | 77.11      |
|            | φ150      | ≦4   | 320      | 0.15     | φ110        | 3.26     | 1.0      | 3.6     | 320      | 25.92        | φ190      | 170                | 41.59      |
|            | φ180      | ≦3   | 964      | 0.18     | φ140        | 2.80     | 1.0      | 3       | 964      | 93.70        | φ220      | 200                | 139.97     |
| くがい<br>組立て | φ180      | ≦4.0 | 572      | 0.18     | φ140        | 3.56     | 1.0      | 3.8     | 572      | 70.42        | φ220      | 200                | 105.20     |
|            | φ200      | ≦3   | 340      | 0.20     | φ167        | 2.78     | 1.0      | 3       | 340      | 40.80        | φ250      | 220                | 63.75      |
|            | φ200      | ≦4   | 96       | 0.20     | φ167        | 3.28     | 1.0      | 3.6     | 96       | 13.82        | φ250      | 220                | 21.60      |
|            | φ200      | ≦4.0 | 8        | 0.20     | φ167        | 1.90     | 0.5      | 4       | 4        | 0.64         | φ250      | 220                | 1.00       |
|            | φ220      | ≦3   | 220      | 0.22     | φ167        | 2.74     | 1.0      | 3       | 220      | 31.94        | φ270      | 240                | 48.11      |
|            | φ220      | ≦4   | 56       | 0.22     | φ167        | 3.30     | 1.0      | 3.6     | 56       | 9.76         | φ270      | 240                | 14.70      |
|            | φ220      | ≦4.0 | 32       | 0.22     | φ167        | 1.89     | 0.5      | 4       | 16       | 3.10         | φ270      | 240                | 4.67       |
|            |           |      | 3756本    |          |             |          |          |         | 3736本    | 357.00       | 丸棒体積合計    |                    | 原木体積       |
|            |           |      |          |          |             |          |          |         |          |              | 合計        |                    | 555.50m3   |
|            |           |      |          |          |             |          |          |         |          |              | 香美分       |                    | 401.67m3   |
|            |           |      |          |          |             |          |          |         |          |              | くがい定尺丸棒体積 |                    | 100.06m3   |

工程から見て十分自然乾燥が適用できると判断した。伐採地での葉枯らし乾燥を併用すればさらに時間短縮できることも報告した。写真-5 に実際の栈積み乾燥の状況を示す。



写真-4 栈積み乾燥試験



写真-5 太鼓落とし材の自然乾燥

#### 4. 関係者への理解に向けて

関係者への理解を深めて頂くために加工業者や実施例のある兵庫県へ見学ツアーを行った。特に木材関係者にとっては、切断精度 $\pm 0.1\text{mm}$ という未経験のことができることは、にわかに信じられない様子であった。手順に従って作業すれば簡単に精度が出せることや部材組み立てが非常に効率よくできることを実感してもらった。「本当にここで部材組み立てまでやったのか」と質問が相次いだ。高知県森林組合連合会から作業内容の確認に来られていた方から、デジタルで切断長を設定できる割り出し装置（オート定規）付きのクロスカットにより精密切断された丸棒を見て驚きの声が上がった。

しかし、事業が具体化してくると自治体の動きがネガティブに変わった。精密切断のために必要なオート定規を既存の丸棒加工機に設備するための費用 200 万円を出せないということであった。加工費に設備費上乘せするように交渉したが受け付けない。それなら費用をこちら持ちで良いと交渉するも繁忙期の杭用丸棒生産に支障が出るとの理由でやんわりと断られた。見たところ作業を調整すれば KiTruss 用丸棒加工と両方を十分こなせられると思われるものであった。企業で生産設備も手がけた経験者としての感想ではあった。上からの指示には従うが、新しいことをして怪我したくないという典型的な思考が透けて見えた。ただし、若い人は、意欲があって新しいことをやっていた。もともとこの検討は、若い人と進めていたものであった。仕方なく原木を兵庫県に運び、丸棒加工と精密切断を行なったが、往復の運賃だけで優に 1000 万円を超えた。このため利益がかなり減少した。地元の運送業者を儲けさせたから、まー良いかと変に納得した。後日談であるが、部材加工、組み立てが終わった頃「あの時、設備をしてもらっていたら良かった」との声が聞こえてきた。

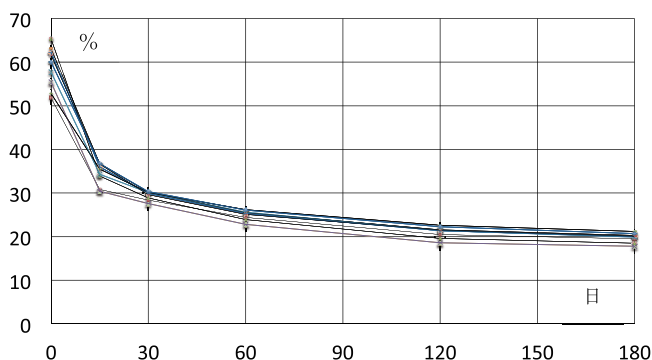


図-2 全乾法測定による含水率の推移

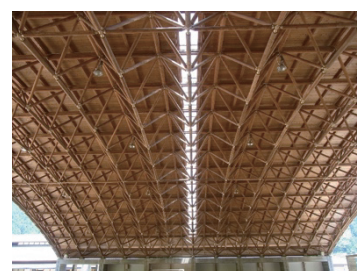


写真-6 くがい林業での丸棒切断作業（左）  
兵庫県安栗市アイビードーム（右）

#### 5. 原木の調達

県レベルの発注工事では、伐採、乾燥時間を考えると工事年度の単年度では、収まらず複数年度に亘ることが多い。工事が複数年度に渡るため原木調達費は、出せないと自治体が譲らない。

強引に単年度予算で発注すると高温乾燥で時間を短縮することになる。高温乾燥は、乾燥時間短縮と表面割れ抑制に効果あると言われており、見た目の美しさで安易に採用されることが多い。しかし、腐朽や蟻害に効果のある樹脂成分が抜けるため耐久性が著しく低下する。内部割れという別の深刻な問題も発生する。高温乾燥は、エネルギーを多く使うこともあり、百害あって一利なしと言わざるを得ない。このあたりは発注側にも検討の余地のあるところである。

室戸ドームでは、大量の木材の先行手配をどうするかが大きな問題であった。これに関しては、地元貢献したいという富士鍛工（株）常務の山川恵則氏の強い思いから同社が工事年度に先行して木材を調達することになった。さながら富士鍛工木材部の様相であった。富士鍛工は、地元室戸市の優良企業

で信用があることが木材調達をスムーズに進めることに貢献した。写真右が、共販所での原木検査の状況である。トラス用ヒノキ原木は、670m<sup>3</sup>と大量だったので時間的問題もあり、皆伐した。直前の台風（2015/8）直撃で伐採地也大荒れ、搬出に大わらわとなった。



写真-7 原木の検査  
奈半利共販所にて

## 6. 部材製作に向けて

今回開発した穴あけジグには、ラグスクリー配置パターンに合わせた穴が前面と 50mm 離れた位置に開いている。穴にドリルの刃を挿入して穴あけをするもので、ケガキが不要である。また、作業台上での作業となるので長尺で重量物のハンドリング工数が不要となった。従来は、ラグ下穴位置のケガキの後、穴あけ機まで運んでいた。しかし、多数本のラグスクリーがあるとドリルの位置決めに多くの工数が必要であったが、誰でもできるようになった。大きな改善であった。

2015 年 2 月姫路のくがい林業にて室戸ドームに向けた部材製作のトレーニングを室戸の作業者向けに実施した（写真-9）。

一連の作業が台上できるようになった（図-3）。先ず、フォークリフトの 2 人が作業台上に丸棒を並べる。この間に他の 6 人は、ジョイントコーンネジ部にネジ接着材を塗布する。

次に、丸棒を並べ終わると 2 人一組になって、穴あけ&タッピング、樹脂注入&ラグスクリー締付け、ジョイントコーン取り付けの順で作業台に沿って移動していく（写真



写真-8 作業台上での穴あけと穴あけジグ



写真-9 丸棒加工と部材組み立てのトレーニング風景

-10)。この間にフォークリフト組は第二組み立てライン上へ丸棒を並べていく。

第一組み立てラインでの作業が終了した 6 人は、第二組み立てラインに移動して作業を続行する。この間にフォークリフト組は第一組み立てライン上の完成部材を集積場所へ運ぶとともに再度、第一組み立てライン上に丸棒を並べる。これを繰り返しながら作業を進める。ラグスクリーには、それなりのネジ保持力があるので樹脂硬化前でもハンドリングが可能である。従って、12 時間程度必要な樹脂の硬化を待つことなく作業を続行できるので作業効率が極めて高い。

これは、できるだけ人が動いて物を動かさないというトヨタ生産方式と同じである。手待ちのない効率的な生産方式でもある。この方式により、室戸ドーム向けの 330 種類、3756 本の部材を 8 人、2.5 ヶ月で製造した。当初、担当者ベースでは、自治体が無償で廃校跡を提供してくれると共に作業場としての改造費 100 万円を負担してくれる約束だったが実態は、そうではなかった。使用料と改造費の負担とさらに元に戻す費用まで請求された。事業が具体化し、お金が動くとき色々思惑が働くというお定まりの



(1) 穴開け

(2) タッピング

(3) 入り口に樹脂注入

(4) ラグ締付

写真-10 組立ライン上での作業



呼び水になり林網整備が進むとローコスト生産が可能となり、木材需要拡大につながる。

木材消費が多いものに製紙用チップがある（輸入比率 70%）。ローコスト生産された低品質材を最寄りの港へ陸送、材料が貯まれば、可搬型移動式高性能チップパー（処理量 7m<sup>3</sup>/時間）でチップ化した後、内航船によって臨海製紙工場へ運搬するという考えもある。チップ化の拠点を各地に作れば良い。

バイオマスエネルギー利用としては、温水製造用中型ボイラー（燃料：破碎木材）による多雪地や寒冷地のロードヒーティング、地域の住宅や事業所への暖房用給湯、床暖房用給湯が実現性が高い。熱が必要なのは、冬場 4 ヶ月分なので残り 8 ヶ月掛けて集材、破碎木材を自然乾燥すれば良い。地域には自然乾燥できる十分な土地もあるので燃料の乾燥が容易である。発電に比べ極めてエネルギー効率が低い。発電利用の問題点は、燃料として想定している極低品質材の確保が運搬も含めて難しいことである。海外から燃料を輸入するなどという本末転倒なことまで検討されている。日本の場合、伐っても伐っても木材は、増える一方、ひたすら CO<sub>2</sub> を排出する。お題目にしているカーボンニュートラルは、数十年はおろか百年、二百年以上も成り立たない。加えてカロリーが低いことがこれに拍車をかける。使える木まで強引に発電に回すと本来の木材利用へのしわ寄せという悪影響が出る。燃やすのは、最後の手段であって、発電のため燃やすこと先にありきでは決してない。かつて木質ペレット燃料製造プラントに多額の補助金が使われたが、結果は、プラント輸入商社を儲けさせただけであったのも記憶に新しい。

木造で高層建築をという夢のような話が話題になっているが、地震や暴風が日本に比べ、無いに等しい北欧生まれの技術が、世界一荷重条件の厳しい日本で経済的に通用するとは、とても考えられない。夢で終わらなければ良いがと耐震設計専門家でもある筆者は、危惧している。

セルロースナノファイバーを自動車のボディーや建材にという勇ましい話も話題になっているが、元鉄鋼建材会社で開発に長く関わってきたものにとっては、にわかには信じがたい話ではある。

おわりに

室戸ドーム実現への経緯とこれを踏まえて国産材利用推進の提案と問題点について述べた。

【参考文献】1) 今井克彦、宮原浩維「中低品質木材による大スパン建築等の開発」研究イノベーション学会第 31 回年次学術大会、2016/10

【謝辞】本プロジェクト推進で多くの方々にお世話になりました。また、共同通信高知支局長西野秀氏には、本稿に対して貴重な意見をいただきました。合わせて深く御礼申し上げます。

平面形：50.0x50.0m 天井高さ：22.0m  
災害時には、大規模防災拠点  
地震時の重要度係数：1.50 適用  
（通常の大地震時の 1.5 倍）  
桧部材：3,756 本（φ120～220）  
ヒノキ甲種 3 級（原木 667m<sup>3</sup>）  
モヤ、胴縁等：スギ甲種 3 級（原木 550m<sup>3</sup>）



写真-12 高知県立室戸広域公園屋内運動施設/室戸ドーム



写真-13 トラスの立ち上がり部

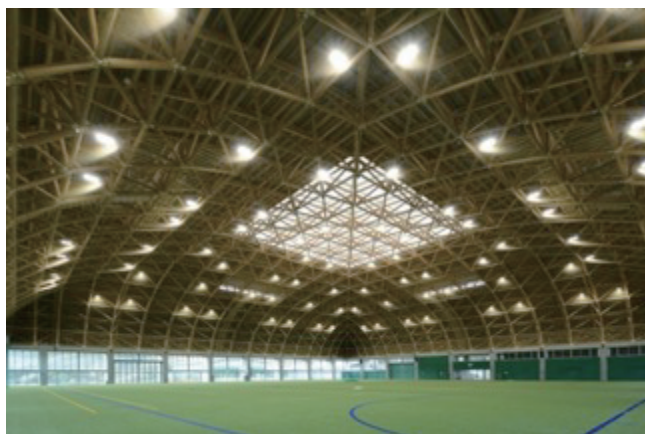


写真-14 対角方向を見る