

林野庁 令和4年度林業イノベーションハブ構築事業
林業イノベーションハブセンター（森ハブ）
第2回分科会（機械開発） 議事概要

作成日：2022年10月21日

日時	2022年10月18日 13:30~16:00
場所	Web会議（zoom）
議題	<ol style="list-style-type: none">1. 開会 <ol style="list-style-type: none">(1) 挨拶：林野庁2. 議事 <ol style="list-style-type: none">(1) 本日の分科会について(2) 林業機械開発事業の現状(3) 林業機械の自動化・遠隔操作化による将来の作業システム例(4) 林業の各工程における自動化・遠隔操作化の課題(5) 意見取りまとめ3. 閉会 <ol style="list-style-type: none">(1) 今後のスケジュールについて
資料	資料1：本日の分科会について 資料2：林業機械開発事業の現状 資料3：林業機械の自動化・遠隔操作化による将来の作業システム例 資料4：林業の各工程における自動化・遠隔操作化の課題

【議事概要】 ※資料記載事項は割愛

1. 開会

(1) 挨拶

2. 議事

(1) 本日の分科会について

- (事務局から資料に基づき説明)

(2) 林業機械開発事業の現状

- (林野庁から資料に基づき説明)

(3) 林業機械の自動化・遠隔操作化による将来の作業システム例

- (事務局から資料に基づき説明)

(4) 林業の各工程における自動化・遠隔操作化の課題

【伐採】

- 伐採においては、切る前は立木があり、通信状況は悪いが、SLAM 等による相対的な位置関係は把握しやすい一方、作業が進んで切り開かれていけば、通信状況は良くなり GNSS の取得精度は上がるが、相対的な位置関係が把握しにくくなるという状況。
- 機械を遠隔で見られるレベルで、ハイビジョンクラス相当以上の映像の伝送が必要になると思われる。また、林業の現場では、常設ではなくて仮設だと考えている。
 - 木が密集して葉が多い場合は、ほとんどの通信が周波数的に難しいため、低い周波数を使う VHF のようなシステムなら可能性はあるが、問題は、無線機の値段が何十万とする。
 - VHF を使った場合は、4K クラスの画像を送ろうとすると、VHF 自身は帯域幅が広いわけではないため、画像圧縮は必須であるが、技術的に不可能ではない。
 - LPWA という低レートの伝送で広域のものも、少しずつ高度化してきており、動画像自身のフレームレートを少し間引いた形で、大きな動画像を伝送できるシステムも出てきているので、技術的には可能であるが、林業用途に使う時にどれぐらいのコストが出るのかが、難しいと感じている。
 - VHF による通信は、近くの CATV (インターネット回線) があるところから、ホップでつないでいくというパターンを想定している。イメージとしては、Wi-Fi のより広く飛ぶバージョンというイメージ。
- 11ah (正式: IEEE802.11ah) という 920MHz 帯を使う Wi-Fi の技適を取得したという発表が日本国内でもあり、そろそろ製品化されると思われる。11ah の通信速度はそれほど早くはないが、VHF より容量を送ることができるのと、海上で 1km 程離れた距離で、1Mbps ぐらいの速度が出た実験結果があり、検討候補になると思われる。
 - 920MHz で OFDM というデジタル変調方式は、11ah と 15.4x (正式: IEEE802.15.4-2020) の 2 つで標準化されている。11ah と 15.4x の違いは、15.4x の伝送レートは 12.5Kbps~2.4Mbps まで、11ah は数百 Kbps~4Mbps ぐらいまでで可変が可能。LPWA の次の世代がそろそろ始まる。

- 他にも 11ah と 15.4x の違いとして、11ah ではホップ（中継）がオプション扱いで、ネット等で公開されている資料からは 2 ホップまでとなっており、15.4 を採用する Wi-SUN FAN は標準で 20 段以上のホップが可能で、今後 Wi-SUN FAN では 15.4x に対応した通信モジュールがでてくる予定。
- VHF 帯を用いた ARIB STD-T103/119 は、伝送距離が 25km 以上と、920MHz 帯に比べ波長が長い分広く飛ぶ。また、伝送レートは 9Mbps ぐらいで、画像圧縮技術による 4K 伝送の実績がある。
- この辺りの情報は、ネット上で曖昧な形で錯綜しているので、きっちり整理したほうがよい。
- 現場側で大体 10Mbps、受取側も極力 10Mbps に近い伝送速度があれば、フル HD の映像を送受信しつつ、遠隔操作も可能となる。林業の現場において遠隔操作を導入する時には、10Mbps を目標にするのがよいと思われる。通信と映像の必要な規格、映像と操作側をずれなく動かすにはどうすればいいのかを念頭において、遠隔操作化・自動化に取り組んでいくのが大切と思われる。
- 建設業でもローカル 5G 環境を構築した、8K の画像でどのくらい読み取れるのか、映像でどんな施工管理ができるかなどの実験を行っており、どちらかというとエッジ処理を用いている。また、建機のカメラ映像で、その場で判定してアラートを出すことや、トンネル等一部の工事では遠隔操作を行っているが、遠隔操作をここまで厳しい条件、特にリアルタイム性を要件として取り組んでいるのは少ない。
- 遠隔操作化にあたり、一対多という形も候補に入るのか。船の自動運転においても、1 人が 10 隻程同時に見るようになるのではという話があった。林業においても、現場に複数台機械を入れて、1 人がリモートで監視するパターンも考えられるが如何か。
 - 土木現場では既に自動化が一部実現されているため、遠隔操作化より自動化のほうが、可能性が高いという話があったが、逆に林業分野では自動化が難しいので、複数台の遠隔操作は、林業分野では可能性があると考えている
 - 通信背景によるが、基本的にはローカル環境での遠隔操作か、スタンドアロン型の自動化になると思っており、通信遅延に関しては、遠隔操作の方が許されないと考えている。その中で、何が起こるかわからない森林内で、常に一人は監視・対応できる体制として、一対多は重要である。運材機械の自動追尾が、複数機械を同時に操作という点で近い話になるので、そういったところはすぐに取り組むべきと考えている。
 - 私も同じ認識で、海外では効率を上げるために大型化しているが、日本の急峻な地形において、機械の単純な大型化は難しいので、小型機械の群制御を将来見据えておくべきと考えている。
 - 基本的には遠隔操作で、必要ない部分は自動化という考えが適していると考えており、自動化する部分は完結させつつ、人間が介在するところは、機械が止まって人の指示を仰ぐという形で、複数台の機械を自動化+遠隔操作化するシステムが実現性・実効性があると考えている。
- 実際の現場では、チェンソーマンの死亡災害が一番多いため、安全面では機械による伐倒が求められるが、地形によって機械が使えないところがある。傾斜地に対応した小型の機械の開発も必要ではあるが、木の大きさによっては機体が耐えられないと思われる。
 - 機械の議論からずれるが、伐採作業時に木に潰されて動けなくなり、亡くなってしまうパターンが圧倒的に多いため、チェンソーマンの安全のためには、背中に背負うエアバッグのような、膨らんで人を守るようなものが本当は欲しい。

- ▶ オペレーターは、ある程度機械に乗れるようになると、上手くなったと錯覚し、労働災害が起きるパターンが多く、同じ木を切るにしても、機械の使い方、切り方が人によって異なる傾向がある。
- ▶ Google のスマートグラスと AR 技術を用いて、ベテランの目線を未熟なオペレーターと共有して、ボタンを押すタイミングなどを話しながら伐採を教えることで、より効果的に技術力が向上し、安全面の向上及び将来の自動化にも繋がると思われる。そのためには遅延がない通信が非常に重要。
- ▶ 大型機械の自動化・遠隔操作化だけではなく、エアバックやかかり木処理のチルホールのような軽量のツールも、急傾斜地のような機械が入れないところでは有効であるため、自動化・遠隔操作化に向けて、メカニカルな部分でも開発が必要と感じた。
- ▶ 熟練者の技術は、初心者の教育と機械の制御にも使えると考えており、グラップルやハーベスタ等のブームを操作するのに、熟練者の操作感等の林業における特殊なところ、テクニカルな部分を自動化等にも反映して行くべきと感じている。
- 特に伐採は、事故が最も多い作業で、効率化という観点だけでなく、安全が最優先される自動化・遠隔操作化という形になるかと思われる。他にもリアルタイム性や、作業者の方へのアシストという部分でも、通信も含めた開発が必要だと思われる。

【造材】

- 立木の伐採と同じで、どこにどういう形状の材があるか、どういう状況にあるかという見た目のセンシングの話と、海外でも腐りや虫害による木の内部の損傷具合の把握が求められており、非破壊検査のセンシングが必要と考えている。木の内部の音が伝わる速度で、材の強度を予測することも可能だが、そのようなセンシングの話について情報提供頂きたい。
 - ▶ 海外では CT スキャナーで内部の節の状況を見ようとする取組もされているようであるが、今後気軽にそういうデータが取れるようになれば、必要とされる造材方法が出てくると思われる。
- 現場ではオペレーターが木の切った断面を見て、腐り・虫害の有無を目視で判別している。例えばスギであれば、枝から虫が入ることによる、「とび腐れ」という斑点ができる虫害があり、目視で判断可能。
 - ▶ 切る前では、木の根元の樹皮が剥がれているような傷がある部分で、色がねずみ色みたいになっていれば虫が入っているのでその部分は使えない、という判断は目視で可能。
- イタリアでは、腐り部分は水分量が高いので、近赤外線という特別な波長の画像を見ることで、腐り部分を抽出するシステムを、ハーベスタに組み込んだ開発機が出てきている。
 - ▶ 同じイタリアのチームの取組として、枝が多い場合、ハーベスタが造材時に枝払いを行う際の、枝払い刃による切削の抵抗や、採材時のチェーンソーの抵抗を計測し、節のありなしや材の強度を予測するシステムを検討している。
- 現場の技術の話になるが、腐りは根元から入っていることが多く、根元からどの位置まで腐りがあるか分からないため、少しずつ切り進んで、腐りが見えなくなってから、丸太を取るようになっている。ただ、熟練者は、腐りがどの位置まであるかをピンポイントで当てることができる。
 - ▶ 経験則ではなるが、腐っている部分の大きさが大きいほど、根元からの腐りも長くなっているため、腐り部分の径を見て、大体〇m〇cm ぐらいと判断して落としている。

- 経験則を数値化なりモデル化していくことが、自動化・遠隔操作化の中に含まれる必要があると感じている。
- 造材は切ってからという部分もあるが、虫害のような一部だけ変色しているのを事前に見つけるのは難しいので、木材市場ではこの谷は虫が多い・色が悪いという情報を経験上持っていることもある。
- 造材により価値の高いものを仕分けて採材した後も、良い材はより高く売れる市場等へ持って行く先を変えることもあり、切った後の仕分け作業はどう自動化するのか。また山の現場は非常に狭く、材の置き場に困る状況下で、現場によっては10数種類への仕分け作業を自動化できるのか、という部分は非常に難しい問題が出てくると思われる。
 - オーストリアは基本的に全て4m定尺に切って、工場の高精度な選別機で仕分けるシステムにより効率化している。細かな仕分けをする林業が、日本のやり方ではあるが、自動化を進める中で、そこまで考えるのか、割り切って4mとか3m定尺の世界にするべきか。他産業での合理化の例もあればそれも含めて、皆様のご意見を頂きたい。
 - 言われる通り、規格で4m定尺というのは、自動化するには楽。また仕分け作業は、現場で行うより工場や市場側で行うほうが、効率が上がりやすく自動化もしやすいと思われる。輸送面でも、トラックは4m材の方が積むスピードも速く、VRによるクレーン積み作業もしやすくなるが、2m材もあると横向きでの積み込みというパターンも出てくるので、4mのみで採材するほうが楽になると思われる。
- 現場の条件にもよるが、日本の建設現場は分離・分割発注のため、全体では大規模な工事でも、ゼネコンから見ると小規模で、建設機械やICT施工の技術を開発しても、十分な費用対効果が得られず、日本で開発したものを海外で活用して、初めて費用対効果が出るということが多い。
 - 生産性向上や安全管理の観点で開発されている技術は、総合評価等の入札時の加点としての影響が大きく、そういった理由で力を入れているところがある。
- 全体の話になるが、今回の目論見が、安全管理、生産性向上、その安全管理と生産性向上を図るためのノウハウ的などのナレッジマネジメントのためのデータ化という、3つの目論見がそれぞれの工程で存在し、各工程の中で強弱が多少違うと思っている。
 - 手段としては、直接作業員が安全器具をつけるような物理的な方法と、マシンコントロール(自動化)、マシンガイダンス、センシングが挙げられている。
 - マシンガイダンスに関しては、遠隔操作が前提の議論が多いが、必ずしも遠隔操作だけではない。遠隔操作は技術的難易度が高く、建設産業でも実験や一部の現場で導入されているだけで、小規模な現場ではほとんどない。
 - センシングに関しては、アイマークレコーダー、あるいはモーションキャプチャー、マシンの操作履歴により、データを取得し、機械学習させてマシンコントロールかマシンガイダンスの素材・材料にしていく方法がある。
 - その他として、要件定義を定める必要がある。これを分科会の中で定義するのか、要件定義(案)としてまとめるのがいいのかということも議論がいろいろあると思われる。
 - 要件を全部達成するのは、技術的難易度が高く、費用がかかるため、要件にレベル差を付ける方法もある。その中で、協調領域と競争領域の境界線をどこで引くべきか。
 - 林業そのものの特殊性として、協調領域と競争領域は、補助金が多い林業の世界では、難しい

ところでもある。

➤ 建設業でやっている技術を、林業の方にダウンサイジングみたいな形で、適用できそうなものないか、レビューするのも一案かと思う。

- 今後のやり方として、オーストリア方式で行くのか、従来の方式で行くのかについては、2つの方向性で議論して行った方が良いと考えている。

【集材・運材】

- 集材・運材は、全体の作業システム中でボトルネックになることが多いが、作業速度を上げられるか考えたときに、車両系においては運材のところで機械台数を増やして群制御することで、作業速度を上げられる可能性はあるが、架線系で用いるワイヤーにおいては、巻き取り速度を上げるのはよくないと思われるので、ワイヤーによる集材においては、24時間止まらず稼働できるシステムを構築できれば1日当たりの生産量を増やし、他の工程との生産速度を合わせることができると考えている。

- 集材において、特に集材機やタワーヤードによる集材作業において、ワイヤーに過大な力がかかることがあるので、自動化・遠隔操作化の大前提として、ワイヤーにかかる張力のモニタリングシステムは確実に組み込む必要があると考えている。

➤ 個人的には集材・運材が無人化できると、全体の作業システムのバランス良くなることも含めた上で、やりやすいと考えている。既にタワーヤードでは半自動化ができており、人間が指示を出せば、その後は自動で材を集める機能は既にあり、機械的にも電子制御がしやすい。特にタワーヤードに関する自動制御ができれば、日本の技術として世界にも打って出られる可能性があると考えている。

- 建設分野において物体を検出して、安全監視の為のアラートを出すのは、頻繁に使われているが、マシンを制御するためだけに画像の物体検出を使うのは難しい。マシンガイダンスでは使われており、マシンコントロールに関しては「止める」といった制御はしているが、そこからさらに次の作業に移るといところは、慎重になっている。

➤ 林業における現場の条件は、災害対応の条件と非常に似ている部分がある。通常の施工には建設機械と設計データと位置情報の3つが揃わないといけないが、例えば道路の崩壊により寸断された時は、設計データがない中で施工しないといけないという点は共通している。

➤ 例えば平常時は林業で使用して、災害が起こった時には災害対応用の機械として使用するような、平常時と災害時の両方で使える建設機械という切り口での開発であれば、建設業界と連携した技術開発ができるのではないかな。

【植栽・下刈り・電動化】

- 現場条件としてはGNSSの受信環境は非常に良く、スターリンクのような衛星通信の条件もいいところではある。

➤ 今後苗木の位置データを植付時から取得して、その後の森林作業に活かして行きたいと考えている。

➤ 造林機械に関して、伐根等の障害物が多く不整地という現場内に、進入できる機械が求められており、建設業の法面工事で上から吊るしながら重機が下りて作業する機械があり、テザーも

同様であるが、そういうのが面的な作業に展開できればと考えている。

- 立木が無いという現場条件の中で、RTK-GNSS が活用可能である可能性が高いが、一方で立木といった対象物が無い場合、SLAM といった技術は使えなくなることから、機械の精度は RTK-GNSS に依存する。
 - RTK であれば、植栽現場で試したことはないが基本的には 1cm レベルで精度が出ると思われる。急傾斜地で空が開けていない部分や、林縁部などでの検証はいると思われるが、条件的には建設現場と近い条件にはなると思われる。
 - 法面対策・斜面防災関係に関しては、想像以上にアナログで命綱により作業しており、機械化をしていかないといけないという課題認識を持っている会社が多いので、むしろこれから一緒に開発して行く可能性は充分ありえると思われる。
 - 建設機械メーカーが自動制御の技術を持っておらず、全部ゼネコンといった実際使っているユーザーの方が持っている状況で、ゼネコンと林業業界で共同開発できる可能性があるのか。
 - 自動制御は、ゼネコンが技術を持っているものもあると思うが、建設機械がベースなので、建設機械のメーカーで対応できる部分もあると思われる。その上でゼネコンと一緒にできるのかは、災害対応という切り口では可能性はあると思われる。
- 電動化に関しては、カーボンニュートラルという形で、船の方でも進んで来ており、電動化か燃料電池化かという中で、リチウムイオン電池や燃料電池で動かすのは、動力部分であるモーターであり同じであるため、どちらの選択肢になるのかは、供給インフラがどうなるか次第かと考えている。
 - 建機で気になるのは、どれぐらいの力が必要なのかと言うところで、油圧との併用は関わってくるのでは感じている。大型機械の電動化に関しては、船だけでなく港湾荷役をすることで使われているクレーン等の電動化・燃料電池化についても行われているので、そういう技術が使えるのではと思われる。
 - 建機関係で、マリコンからも話を聞いたりすると、バックホウの電動化の検討をしているが、電池の容量が少ないのと、価格が高価のため、中々踏み切れてはいない。
 - 重機メーカーと電動化に向けた話は既に始まっているが、山の中で木材のような重量物を運ぶにあたり、5t ぐらいの力が必要になると考えており、そのような重量物を、基本的に山の中では上から下に降ろす中で、重力エネルギーを活用して、充電と回生エネルギーをどう回収するかが、山の中での課題になっているが、船舶の方での回生エネルギーの状況をお聞きしたい。
 - 船の場合は、プロペラを止めるとすぐに停止するため、回生エネルギーは期待できない。一部帆船のような形にして走りながら発電する話はあったが、そういう別の力を電気に変えるという形なので、回生エネルギーに関しては使えないという状況。
 - 回生エネルギーは、基本的に惰性で走る事ができるが、ブレーキかける時に抵抗にするくらいなら、発電機回して発電取るというシステムで、ブレーキをかけずに止まるような状況では、回生エネルギーはシステム的に厳しいと思われる。
 - 林業の現場で車両系は難しいと思われるが、ワイヤーを使った架線集材は、山の高いところから数 t の丸太を、ブレーキをかけながら下ろして行く中で、エネルギーの回収ができるのではと考えている。山の中では、エネルギーをどう回収して、どう活用していくかが重要な視点になると考えている。
- 林業におけるカーボンニュートラルのような取り組みとして、10/5 に「ネットゼロエミッション達

成のための森林の役割」として森林総研の公開講演会が開催されていたが、森林の中でのネットゼロを目指す取り組みは、世界的にも動きはある。

- ▶ 海外で打って出るというところでは、そういう部分の開発をしておく、メリットが出そう。
- ▶ 単純に自動化だけではなく、電動化も交えた上での開発を進めていく方がいいと思っている。油圧も力を出しやすいので有効ではあるが、熱ロスが多いところもあり、電氣的な制御の方が細かな機械の制御がしやすいと思われる。併せて電気モーターを使うなら、きちんとエネルギーを回収していくシステムを組み込んでいきたいと考えている。
- ▶ 船の世界の電動化と自動化について、特にヨーロッパとかでは、大型船はエネルギー密度の問題で難しいが、中型船や小型船であれば、メンテナンスフリーにするため、自動化と電動化をセットとして取り組んでいる。
- ▶ 自動化・電動化を一体として、どの方向で開発して行くのかは、木をどのように出すのかというシステム的な問題も同時に議論する必要があると思われる。

3. 開会

(1) 今後のスケジュールについて

以上