

研究代表者 所属・職：工学部・教授

氏 名：福田秀志

研究課題名：知多半島の工場内におけるゼロカーボンの森の創造

研究の概要

本研究では、知多半島内の工場として、JFE スチール知多製造所を対象として、市民研究員として、JFE スチール知多製造所の社員にも中心的に参画して頂き議論しながら（写真1）、企業敷地における新たな環境施策としての「カーボンマイナスの森」創造の可能性を検討した。具体的には、工場内のビオトープ（ビオトープ知多）の敷地内で、早生樹であるセンダンを対象樹種として育成試験をおこない、その特性を把握するとともに、間伐材の段階的活用を前提とした空間的提案をおこなった。育成試験の結果、工場敷地内という条件下においても、適切な土壌改良をおこなうことで、センダンの健全な生育環境を確保できる可能性を示すことができた。さらに、育成過程で発生する間伐材を、炭素を長期的に貯蔵する資源として積極的に活用する手法を提案した。間伐材を接ぎ木天板等として利用することで、若齢期の小径材であっても空間的・意匠的価値を持つ木質部材として再構成できることを示した。また、モザイク状の木質パネルを段階的に更新・充填する手法により、森林の成長と間伐材量の増加を空間的に可視化する仕組みを提示した。これらの提案は、森林による炭素吸収、木材利用による炭素貯蔵、そしてそれらを認識可能な形で示す空間表現を一体的に捉える点に特徴がある。すなわち、本研究は、カーボンマイナスという概念を数値や技術にとどめず、企業敷地内の日常的な空間体験として具現化するモデルを示したものである。以上より、本研究で提案した「カーボンマイナスの森」は、鉄鋼業においても、自然の吸収機能と空間設計を組み合わせることで、環境価値を創出し得ることを示した点に意義があると考えられる。

達成状況・成果内容

JFE スチール株式会社（以下、JFE スチール）は、日本を代表する大手鉄鋼メーカーであり、日本国内外で広く事業を展開している企業である。鉄鋼業は原料の高炉還元や大量エネルギー消費に伴い、温室効果ガス排出量が相対的に多い産業のひとつとして位置付けられている。このような背景から、JFE スチールを含む JFE グループは、2050 年までにカーボンニュートラル達成を目指す長期戦略である「JFE グループ環境経営ビジョン 2050」を策定し、気候変動問題への対応を経営上の最重要課題として位置付けている。この戦略では、鉄鋼事業での省エネルギーと効率改善を進めるだけでなく、革新的な低炭素技術の研究・開発や導入を複線的に推進し、段階的な温室効果ガス削減を目指している。具体的には、2030 年度までに 2013 年度比で温室効果ガス排出量を 30%以上削減する中期目標を掲げるとともに、電気炉などの新プロセス技術や水素還元・カーボンリサイクル高炉等の超革新技术の開発を通じて、従来製鉄法に依存しない低炭素鋼の実現を目指している。また、鉄鋼製品自体の環境価値を高めるため、ライフサイクル全体で環境負荷を可視化した環境配慮型製品の提供などもおこなっている。さらに、JFE グループは企業単独の取り組みに留まらず、国内外の環境保全活動への参加や、地域社会との連携による環境活動も推進しており、サプライチェーン全体での温室効果ガス削減や持続可能な社会づくりに寄与することを目指している。これらの取り組みは、鉄鋼業が抱える環境負荷問題に対し、技術革新・経営戦略・社会連携の三者を統合した総合的対策として捉えることができる。

本研究では、JFE スチール知多製造所敷地内における新たな環境施策として、企業敷地における「カーボンマイナスの森」を提案する。これは、同社の従来からのCO₂削減戦略に加え、炭素吸収源としての植生導入を統合した総合的な環境価値創出モデルである。鉄鋼生産は相対的にCO₂排出量が多いが、同社が研究開発を進めている水素還元剤とする水素製鉄や電気炉を用いる製鋼法は、従来の高炉転炉法に比べてCO₂排出量の大幅な低減を可能にする技術であるとされている。例えば、電気炉法では、スクラップ鉄や直接還元鉄を用いることで、従来の高炉・転炉法よりも温室効果ガスの排出量低減が期待されており、将来的には再生可能エネルギー、電力・水素系原料との組み合わせにより、さらなる排出削減も期待される。本研究では、これらの自社独自技術に加え、敷地内における新たな炭素吸収源としての樹木植栽をおこなう。具体的には、早生樹のセンダン (*Melia azedarach*) に着目し、知多製造所内において育成試験をおこなうことで、敷地内植生導入の環境的・生態学的可能性を示す。さらに、カーボンマイナスの森で導入される植生が成長する過程で発生する間伐材等の副産物について、単なる廃棄物とみなすのではなく、工場内での炭素貯蔵材料としての有効利用を提案する。これらの取り組みは、鉄鋼業における技術的な温室効果ガス排出削減、敷地内の植生導入による生物由来の炭素吸収の増大、植生由来副産物の炭素貯留への再利用という三つの側面を統合したものとなる。本研究はこれらを統合的に検証し、企業敷地における中長期的なカーボンマイナス戦略モデルの構築を目的とするものである。

カーボンマイナスの森に植栽する樹種として選定したセンダンは、若齢期における成長速度が速く、幹材積増加量を指標とした場合、条件によってはスギやヒノキと比較して圧倒的に高いCO₂吸収ポテンシャルを示すことが報告されており、地球温暖化抑制への寄与が期待されている。一方で、センダンは土壌養分および水分条件に対する要求度が高く、土壌条件の違いによって成長が大きく変動することが指摘されている。本研究では、工場敷地内という特殊な環境条件下において、樹木が育成可能であるかを検証するため、まず工場内土壌における育成条件の基礎的な調査をおこなった。調査および計画立案に際しては、センダンの育種、育成を専門とする熊本県北広域本部玉名地域振興局の横尾謙一郎博士（以下、横尾博士）からの専門的助言を受けながら研究を進めた（写真2）。植栽する土壌は、JFE スチール知多製造所敷地内に存在する真砂土であり、地域的には愛知県美浜町由来の山砂である。本実験では、この真砂土を用いた6×10mの範囲を実験区画として設定し、土壌改良をおこなった。実験区画は、施肥条件および土壌改良方法の違いによる生育差を比較検証するため、「施肥のみ区」「土壌改良区」「根鉢土壌改良区」の3区画に分け、それぞれの区画に2本ずつ、合計6本を植栽した。各区画は同一敷地内に設定し、日照条件や周辺環境の差異を最小限に抑えることで、処理条件の違いによる影響を明確に把握できるよう配慮した。土壌改良区では、植栽地点を中心として半径1mの範囲において、深さ80cmまで掘削し、その上に20cmの盛土を施した。改良材としては、保水性および通気性の向上を目的にピートモスを15%、土壌の有機物量および養分供給力の向上を目的にパーク堆肥を15%配合した。使用量は、ピートモスを120kg、パーク堆肥を230kgとし、これらを既存の真砂土と十分に混合したうえで埋め戻しをおこなった。一方、根鉢土壌改良区では、工場内における施工負担の軽減および土壌改良手法の有効性を検証することを目的とし、改良範囲を根鉢周辺に限定した。具体的には、深さ50cm、半径0.25mの範囲のみを掘削し、同様にピートモスおよびパーク堆肥をそれぞれ15%ずつ混合した。使用量は、ピートモス4kg、パーク堆肥7.4kgとし、最小限の資材投入による生育効果を確認する構成とした。施肥条件については、3区画すべてに共通してIB化成S1号を使用し、各樹木あたり1kgずつ施肥した。これによ

り、施肥条件を統一したうえで、土壌改良方法の違いが樹木の生育に及ぼす影響を比較できるようにした。植栽を2025年6月6日に実施し、植栽後は成長に応じて、横尾博士が開発した幹曲がり抑制技術「芽かき」を適宜おこなった。その後、約2週間ごとに定期的な生育調査を実施し、樹高、胸高直径、根元直径を測定した。加えて、土壌環境および樹木の生理状態を把握するため、土壌pH値および葉色素量を示すSPAD値の測定も同時におこなった。これらの調査は10月下旬まで継続して実施し、工場内真砂土における各処理区の生育傾向および差異を時系列で把握することを目的とした。

その結果、植樹約4ヶ月後（10月23日）時点で、control区は2本とも枯死した。根鉢土壌改良区は1本枯死、1本は樹高180cmに成長した。土壌改良区1本は発根せず7月8日に補植したものが樹高105cmとなり、1本は最大の樹高195cmまで成長した（写真3）。これらの結果より、根鉢だけでなく土壌全体を広く改良することが必要と考えられた。樹木の活性の一つであるクロロフィル量の指標となるSPAD値を測定した結果、土壌改良区では、7月時点から値が高く、10月には全区の中で最も高い値を示し、土壌改良が作用し、クロロフィル量の増加につながったと推察され、この結果からも土壌全体を広く改良することが必要と考えられた。

次にカーボンマイナスの森の提案をおこなった、対象敷地を、JFE スチール知多製造所の工場入口付近に設定した。当該地は、社員・来客者の多くが通行・視認する立地条件を有している。工場への出入口動線上に配置されていることから、従業員および来客者の双方にとって、日常的に視界に入る場所であり、敷地全体の中でも高い視認性を持つ空間であるといえる。現地調査の結果、対象敷地は交差点や主要通行路に面しており、車両および歩行者の通行視界に常時入る位置にあることが確認された。このことから、本来であれば、企業の環境姿勢や空間的な象徴性を示す場として活用される可能性の高い場所であると考えられる。一方で、敷地内の植栽はクロマツが無造作に配置された状態となっており、植栽計画や空間構成に基づいた明確な意図は読み取りにくい。樹木の配置や密度は人の滞留や回遊を促す構成となっておらず、空間としての利用目的が不明瞭である。その結果、従業員や来客者が敷地内に立ち入る様子はほとんど見られず、通行時に視認されるのみで、実際の利用には至っていない。このように、対象敷地は高い視認性を有しているにもかかわらず、人の行為や滞留を生み出す空間としては機能していない。これは、植栽計画および空間構成が人の行動を誘発する設計となっていないことが主な要因であると考えられる。すなわち、現在の対象敷地は、「見えるが使われない空間」として存在しており、その潜在的な立地価値が十分に活かされていない状況にある。以上より、本研究では、この高い視認性を持つ立地特性を積極的に活かしつつ、植栽計画および空間構成を再編することで、人の行為や滞留を生み出す空間へと転換することを重要な課題として位置付け、次のコンセプトで設計した。

企業敷地内における新たな環境空間の在り方として、「カーボンマイナスの森」というコンセプトを提案した。本コンセプトは、森林による炭素吸収機能と、木材利用による炭素貯蔵機能を統合的に捉え、大気中CO₂の削減と長期的な炭素固定を同時に実現する空間モデルの構築を目的としている。カーボンマイナスの森では、植栽された樹木が成長過程において大量のCO₂を吸収・固定するだけでなく、間伐や伐採によって得られた木材を什器・家具・内装材などの形で余すことなく利用することで、伐採後も炭素を木材内部に貯蔵し続けるカーボンストックとして機能させることを基本思想とする。すなわち、森林による吸収と木材利用による貯蔵を連続的なプロセスとする構造を重視した。また、本コンセプトは環境機能の創出にとどまらず、企業敷地内における空間価値の創出も重

要な目的としている。計画される森および周辺空間は、単なる緑地としてではなく、従業員が日常的に滞留し、休息や交流をおこなうことができる「憩いの場」として機能する空間として位置付けられる。これにより、環境施策が業務空間から切り離された存在ではなく、日常的な活動の中に組み込まれた環境空間として成立することを意図している。敷地中央部には早生樹であるセンダンを育成に適しており、かつ最大限植樹可能である樹間 5m で配置し、成長に伴って林相が変化していくセンダン林を形成する計画とした。センダンは間伐を前提とした管理をおこなうことで、時間の経過とともに林内の密度や見え方が変化し、森林の成長過程を視覚的に感じられる構成となっている。さらに、敷地中央の要所には、周囲の植栽とは異なる存在感を持つシンボルツリーを配置した。これにより、間伐によって姿を変えていくセンダン林と、成長後も安定した樹形を保つシンボルツリーとの対比が生まれ、空間に明確な焦点と階層性を与えている。この対比は、空間の奥行き感を強調するとともに、時間の流れや樹木の成長段階の違いを来訪者に認識させる効果を持つ。周囲に配置するセンダンは、将来的な間伐を前提とした植栽計画とし、育成に適した条件を確保しつつ、最大限の植栽密度を確保できる樹間約 5m で配置した。この配置により、植栽初期には比較的密な林相を形成し、成長の進行に伴って林内環境および景観が段階的に変化するセンダン林の形成を意図している。センダンの成長特性を踏まえると、植栽後おおよそ 5 年程度で間伐が可能になると想定される。間伐後は、樹間が約 10m となる疎林状の林相へと移行し、林内の見通しや空間的な広がり確保される計画とした。これにより、植栽から成長、間伐を経て林相が変化していく過程を、時間軸を伴う空間構成として表現することが可能となる。また、敷地中央にはシンボルツリーを配置し、周囲のセンダン林が間伐によって変化していく中においても、空間的な焦点として機能する構成とした。シンボルツリーは周辺植栽よりも高い視認性を有し、来訪者の視線を集めるとともに、樹冠の成長に伴って日陰空間が形成され、滞留や休息といった行為を受け止める居場所の創出につながることを期待される。以上のように、本植栽計画は、樹種の特性と管理手法を組み合わせることで、単なる緑化にとどまらず、奥行きと時間の流れを感じさせる空間の形成を目指したものである。センダン林の成長と間伐による変化を通じて、カーボンマイナスの森が段階的に成熟していく過程を、空間体験として表現することを意図している。空間計画では、対象敷地において夏季に快適な滞留空間を形成することを目的とし、太陽軌道および樹木の成長特性を踏まえた日陰空間の創出を重視した。樹木は日射遮蔽および蒸散作用により屋外熱環境の緩和に寄与することが、都市空間における温熱環境の実測および数値解析で示されている。計画にあたっては、夏季の太陽高度および日射角を考慮し、樹木の成長段階ごとに形成される日陰の位置と広がりを検討した。夏季の太陽軌道を基に検討した結果、樹高の増加に伴って樹冠下に形成される日陰は段階的に拡大し、特に樹高が 6m から 10m 程度に達した段階では、地表において安定した日陰空間が確保されることが想定された。本計画では、落葉樹であるセンダンを対象樹種としているため、冬季の日射遮蔽については想定せず、主に夏季の熱環境緩和を目的とした計画とした。センダンは、芽かきにより幹が比較的長く伸び、後に樹冠を形成する樹形特性を有しており、同じ樹高条件においても樹冠位置が高く、影が水平方向に伸びやすい特徴を持つ。この特性により、歩行空間や滞留空間において、視界を遮ることなく広がりのある日陰を形成することが可能となる。樹高 2m 程度の初期段階では日陰効果は限定的であるが、成長に伴い、樹高 6m、10m と段階的に日陰の範囲が拡大し、空間の快適性が向上していく構成とした。以上より、本空間計画は、樹木の成長を前提とした時間軸を内包する点に特徴がある。完成時の状態のみを想定するのではなく、成長過程に応じて日陰空間の質と広がり変化して

いくことを許容し、その変化自体を空間体験として取り込む計画とした。これにより、カーボンマイナスの森の成長とともに、滞留空間としての快適性が段階的に高まっていくプロセスを空間的に表現することを意図している（写真4）。

さらに本研究では間伐材の利用提案おこなった。対象場所を同社事務所応接室とし、カーボンマイナスの森を実現するにあたって、センダンは成長が早いため一般的な広葉樹に比べて短いスパン（5年程度）での間伐が可能であり、事業後早期にその成果を発信できる。また、芽かきにより真っ直ぐ太い材を確保できることから、家具材などへの活用が期待できる。端材まで余すことない材の利用により、来訪者に対し企業の環境配慮の取り組みを対外的に示す提案をおこなう。カーボンマイナスの森の形成過程において発生する間伐材を、単なる副産物として処理するのではなく、炭素を長期的に貯蔵する資源として段階的に活用する空間的手法を提案する。本提案は、カーボンマイナスの概念を体験的に理解可能な形で具現化することを目的としている。まず、間伐によって得られる木材は、工場内の共用空間に設置される什器や家具として利用することを想定した。特に、鋼管製造過程で発生する端材を下部構造として用い、通常では用いられることの無いはずの材を使用することで森林による炭素吸収と木材利用によるカーボンストックを空間的に示す構成とした。これにより、利用者は日常的な行為を通じて、カーボンマイナスの取り組みを直感的に認識することができる。次に、本研究では、早生樹であるセンダンの成長特性を踏まえ、植栽から比較的短期間での木材利用を可能とする手法として、接ぎ木を応用した天板の製作を提案する。センダンは若齢期（5年生程度）では利用径級には達せず、これまで間伐材の活用が進んでこなかったが、幹を複数の部材に分割し再構成することで、小径材であっても大径材に相当する意匠性と機能性を備えた天板を製作することが可能となる。本提案では、植栽から約5年程度での間伐・製品化を想定しており、森林の更新と木材利用を短いサイクルで循環させるモデルとして位置付けられる。さらに、間伐材量の増加に伴う森林の成長過程を視覚的に表現する手法として、モザイク状の木質パネルを用いた内装要素の導入を提案する。このパネルは、間伐材の発生量に応じて段階的に材を追加する構成とし、森林の成長とともにパネルの充填度や表情が変化する仕組みとした。幹材として利用可能な部位だけでなく、端材や不定形材も含めて活用することで、間伐材を余すことなく利用する設計を可能とし、「センダンの全てを使う」という資源循環の思想を空間的に表現している。これらの提案は、独立した要素ではなく、森林の成長に応じて段階的に展開される一連のプロセスとして統合される。すなわち、植栽・育成による炭素吸収、間伐材の什器化および接ぎ木天板による炭素貯蔵、さらに木質パネルによる成長過程の可視化という流れを通じて、カーボンマイナスの概念を「吸収・貯蔵・認識」という三つの側面から同時に示す構成となっている（写真5）。

本研究では、JFE スチール知多製造所敷地内を対象として、企業敷地における新たな環境施策としての「カーボンマイナスの森」の可能性を検討することを目的とした。早生樹であるセンダンを対象樹種として育成試験をおこない、土壌改良の有無による生育環境の違いを、SPAD 値等の測定を通じて評価した。その結果、土壌改良区において生育環境の安定化および葉緑素量の増加傾向が確認された。さらに、育成過程で発生する間伐材を什器、接ぎ木天板、木質パネルとして段階的に活用する空間的手法を提案し、森林による炭素吸収と木材利用による炭素貯蔵を一体的に可視化するモデルを示すことができた。



写真1 中間報告会の様子

(2026年2月17日 JFE スチール知多製造所にて)



写真2 横尾博士の指導を受けた植樹の様子

(左：横尾博士、右：研究協力者で研究室4年の田中好雪
2025年6月6日ビオトープ知多にて)



写真3 土壌改良区で「芽かき」後
旺盛に成長するセンダン

(2025年8月26日撮影)



写真4 カーボンマイナスの森の模型

(植樹10年後の主伐後シンボルツリーを除き再植樹した模型)



写真5 JFE スチール知多製造所応接室を
センダン間伐材を利用して改変したイメージ図