

循環する都市の呼吸

～人工光合成による発電型建築設備の提案～

背景

近年、地球温暖化への対策として、建築物においてもエネルギー消費の削減が強く求められている。しかし、単に消費エネルギーを減らすだけでは、地球温暖化の進行を根本的に止めることは不可能だ。そこで本提案では、「人工光合成装置」を活用した次世代型の建築を提案する。このシステムにより、建物自体がエネルギーを生産し、環境浄化にも貢献する「呼吸する建築」として機能し、持続可能な未来社会の形成に寄与することを目指す。

特に本提案は、大型の建築物においてこそ、その真価を発揮する。大型建築物は屋上や外壁などが、人工光合成装置の設置に十分な面積を有しており、さらにメタノールを用いた発電装置を内蔵するスペースも確保しやすい。そのため、都市部における高層ビルや公共施設などでの導入が期待される。

人工光合成装置について

本提案では、人工光合成技術を建築設備に応用し、建物表面で大気中の二酸化炭素と水から酸素とメタノールを生成し、生成したメタノールを用いて発電するシステムを構築することで、建物単体での脱炭素とエネルギー供給の両立を目指す。

本構想では屋上及び壁面合わせて約20000m²の人工光合成パネルを設置可能であると想定する。現在の技術での太陽エネルギーから化学エネルギーへの変換効率は1.5%だが、技術の発展を見越して変換効率を30%として考えていく。



③ メタノールを利用した発電

生成されたメタノールは、ダイレクトメタノール燃料電池（DMFC）によって電力に変換される。

DMFCは、正極に空気、負極にメタノール水溶液を導入することで以下の反応を起こし、発電を行う。

・負極： $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 6\text{H}^+ + \text{CO}_2 + 6\text{e}^-$

・正極： $6\text{H}^+ + 3/2\text{O}_2 + 6\text{e}^- \rightarrow 3\text{H}_2\text{O}$

・全体： $\text{CH}_3\text{OH} + 3/2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

CO₂と水の再資源化

この過程で発生するCO₂は回収され、人工光合成装置の炭素源として再利用可能である。

同時に得られる水も比較的高純度が高く、ろ過処理を施すことで人工光合成装置の水源として再活用できる。

年間

約3133MWh

DMFCによる発電量

※発電効率を40%と仮定した場合

①～③の過程で水とCO₂が循環

人工光合成装置

DMFC

① 水の収集

水の収集は、③のDMFCの発電過程で排出される水と、建物屋上に降った雨水を利用する。高度なろ過・殺菌など複数の処理工程を経て、高純度の水として人工光合成装置に供給される。不足の場合は上水を使用する。



② CO₂の収集

CO₂の収集は、③のDMFCの発電過程で排出される二酸化炭素を再利用する。さらに、建物外装には固体吸着材を用いた低温再生型のDAC(Direct Air Capture)技術を導入し、大気中から高純度のCO₂を回収する。これらのCO₂はそのまま人工光合成装置に供給される。

② 人工光合成の流れ

建物外装に設置された人工光合成装置は、太陽光を受けることで内部の光触媒や半導体材料が電子(e⁻)と正孔(h⁺)を発生させ、CO₂と水を反応させるためのエネルギー源として機能する。使用される光触媒は酸化チタンや窒化炭素などで、これらは太陽光に反応し化学反応を駆動するために必要なものである。

この反応により、CO₂から炭素を、水から水素を取り出し、太陽光のエネルギーを使って化学的に結びつけることでメタノールを生成する。

得られたメタノールは、建物地下の燃料タンクに貯蓄し、燃料電池や内燃発電機での発電に使用する。

年間
約1417t

メタノール生成量

年間
約1948t

二酸化炭素削減量

※効率を30%と仮定した場合

まとめ

本提案は建物が電力を消費するだけでなく、自らエネルギーを生み出し、環境負荷の低減にも貢献する新しい都市建築の在り方を提案するものである。効率やコスト面での課題が残るが、建築と組み合わせる資源循環を促し都市の自律的なエネルギーと炭素素を実現する糸口となる。