

2022 年の「国際ガラス年」に向けて



Promoted by





2022 年の国連ガラス年に向けて 持続可能な社会のためのガラス

ガラスは、現代の人類文明の発展を可能にする最も重要な素材の一つであることが証明されています。ガラスは、建築、自動車、家庭用品、包装などの伝統的な役割に加えて、エネルギー、生物医学、農業、情報通信、電子工学、航空宇宙、光学、オプトエレクトロニクスなどの最先端分野の主要な原料となっています。そのすべてが人類に影響を与えてきました¹。

このようにガラスが現代社会に与えた永続的な影響により、私たちは今、「ガラスの時代」に生きているのではないかという意見もあります²。エネルギー、建築、環境、ヘルスケア、情報通信技術、フォトニクスなどの分野³で、新しいガラス製品やプロセスが開発され、国連の「持続可能な開発目標」に貢献するなど、ガラスが世界に与える好ましい影響は拡大し続けています。

これらの目標を達成する上でのガラスの役割を裏付けるように、ガラスの歴史には、私たちの世界を永遠に変えてきたマイルストーンが詰まっています。発見された年や、最初にガラスを使用した文化を特定することはできませんが、考古学的な発見や歴史的な文書によると、ガラスが贅沢品の対象となり、埋葬に重要な社会的役割を果たし、その使用が広まったことが示されています。古代の作家は、吹きガラスの息と哲学者セネカや聖書⁴の知恵とを同一視し、ヨブ記と黙示録でガラスについて言及している。

吹きガラスの技法は 2 千年前に発見され、いままでのガラスの製法を一変させました。透明な容器は、輸送、貿易、貯蔵に役立ち非常に貴重なものでした。形状を制御するための金型が導入されたことで、用途が広がりました。職人たちは、より大きく、よりダイナミックで複雑なものを自由に作るできるようになり、それらは収集され、取引され、外交上の贈り物として贈られました。

この千年の間に、私たちが共有してきた文化的・物質的遺産の中でガラスの役割は拡大しました。教会の窓は奇跡的に建物の長さにせまり、神聖な空間の内部に光があふれるようになり、高度に装飾されたゴブレットは王朝の治世を祝い、モスクのランプはパトロンの寛大さを伝えてきました。前世紀には、フロートガラスが建築の外壁を支配するようになり、エネルギー市場ではソーラーパネルが大きな役割を果たすようになり、美術の世界では工芸材料としての分類を超えて、美術の中に組み込まれています。20 世紀に入ってから、大学でのアートプログラムが増え、ガラスを使った芸術表現が職人から彫刻家へと変貌を遂げていきました。

その間、科学技術の発展はガラスによって支えられてきました。光学の発展はガリレオの望遠鏡と彼の宇宙探査を生み出し、顕微鏡は細胞、微生物、血液の研究を切り開いてきました。最近では、白熱電球の高速製造のきっかけとなったガラス、光導電性ガラスは乾式複写法に革命をもたらし、ガラスの結晶化制御からガラスセラミックスが誕生しました。ガラスの光ファイバは、世界のウェブネットワークを陰で支え、パラダイムの変化を刺激し、世界的な通信革命を引き起こしました。

つまり、ガラスは、持続可能な地球と両立しながら、先進的で公正な社会のための透明なツールなのです。また、ガラスは芸術でもあり、その歴史は人類の物語と進化を共有しています。

2022年に祝われるべき特定のマイルストーンの中では、次のとおりです。

- 絵画作品(イタリアのトレヴィーゾにあるトンマソ・ダ・モデナのフレスコ画(1352年))に最も早く眼鏡が描かれてから670周年。
- 海岸の灯台に使用され、無数の災害を防いだフレネルレンズが発明されて200周年。
- 1922年、ツタンカーメン王の墓で古代エジプトガラスが発見されて100周年。
- フロートガラス製法の先駆けとなり、板ガラスの製造を永遠に変えた1952年のピルキントン特許の70周年。
- スタジオ・グラス・ムーブメント60周年
- ドイツ技術協会(DGG)創立100周年。
- アンダーソンとモットがガラスの研究でノーベル賞を受賞して45周年。

国連「ガラス年」の目標

国連の国際ガラス年2022(IYoG2022)の幅広いビジョンは、人類の歴史の中で最も変革的な素材であるガラスの歴史、現状、未来を祝うことです。IYoG2022は、持続可能な社会の課題に立ち向かうための鍵となる技術の開発と性能向上において、ガラスの科学的・経済的な重要性を強調します。2022年は「ガラス時代の到来」を世界に宣言するものであり、この透明な素材が、グローバル化の課題に対応するために、より発展し、公正で持続可能な社会の出現を促進することができることを示します。この幅広いビジョンの中で、私たちは具体的な目標を掲げています。

- ガラス科学とガラスアートのフェスティバル、ワークショップ、その他の活動を世界中で開催し、人々と国との間に寛容さを促進し、架け橋となることを目指します。
- ガラス、芸術、文化の間の親密なつながりを強調し、人類の文化遺産を保存する上でガラスをベースとした技術の役割を強調する。
- 2022年初頭にスイス・ジュネーブでの発足会議、ドイツ・ベルリンでのガラス国際会議、そして最終的にはガラスの芸術と歴史に特化した世界会議／展示会を開催する。
- 合同会議を通じて、ガラス科学とガラス芸術が、多様性を尊重しつつ、私たちを結びつける効果的な手段であることを示す。

- 建築、芸術、通信、医療、交通、その他の科学分野(航空宇宙、光学、天文学など)において、ガラスが人類に貢献し、記録された歴史の中で文明を発展させてきた決定的に重要な役割について、一般の人々の認識を高める。
- ガラスとその関連材料に関わる基礎研究、芸術的、工学的応用に関わる専門的な科学・技術・芸術に焦点を当てた組織、研究機関、大学、産業界、博物館、政府機関、その他の関係者間の国際協力を刺激する。
- 持続可能な開発と生活の質の向上のために世界が直面している最大の課題のいくつかに対処するための重要で、刺激的で、信じられないほど多目的なプラットフォームとしてのガラスを推進する。
- ガラスとアモルファス材料に特別な焦点を当てた材料科学と工学の学際的な基礎研究と応用研究を促進するための触媒としての役割を果たす。

材料は人類の偉大な業績の基盤であり、その研究開発は、将来の持続可能で公平な成長の鍵となる。

- ジェンダーバランスの問題や発展途上国や新興国の特殊なニーズに対処しながら、若者のための理工学を目的とした活動を通じて、世界的な教育同盟を構築します。

持続可能な社会を構築するための重要な材料としてガラスを支持する多くの議論があります。以下では、国連の持続可能な開発目標の多くに対応した、最近のガラスの応用例を紹介します。

国連の目標 3(良好な健康と幸福)。

健康な生活を確保し、各世代の幸福を促進することは、持続可能な開発に不可欠です。医療用ガラスおよびガラスセラミック材料の開発は拡大を続けています。

骨組織工学を含む生体適合性と生物活性のあるガラス製医療機器は、世界中の患者に変革的な効果をもたらしています。骨欠損部の再生には、身体の免疫系によって拒絶されるのではなく、骨と結合できる材料が必要です。特殊ガラスとガラスセラミックスの開発に成功しています。バイオアクティブガラスは、自然の骨組織を再生するために、身体の自然治癒プロセスを刺激することができます⁵。2019 年は、骨と結合する(拒絶されない)ことを発見した最初の材料であるバイオガラスの 50 周年です。最初の臨床製品は 1994 年に市場に出回りました。治療の対象となる問題には、顎の骨欠損が含まれ、多くの場合、健康な歯の下や上、金属製のインプラントの周囲などがあります。それ以来、150 万人の患者さんがバイオガラス製品⁶によって治療を受けており、他の治療法が失敗したケースも多くあります。最近では、代替材料よりもバイオアクティブガラスの利点は、ガラスが生分解する際に放出されるイオンであることが示されています。これらのイオンは、新しい骨を生成するために骨細胞を刺激します^{7,8}。バイオガラスは歯質とエナメル質を再石灰化することができる歯磨き粉の有効成分です⁶。臨床研究では、生体活性ガラスが骨の深部にある感染症(骨髄炎)の患者に抗菌作用を持つことがわかっています。ガラスを使った治療は骨を修復するだけでなく、従来の抗生物質が効かなかった細菌を死滅させました^{9,10}。

今では、軟部組織の修復を刺激する新しい生物活性ガラスで、アプリケーションは骨を超えて到達しています。深くて持続性のある創傷は、特に糖尿病患者の深刻な健康問題です。新しいホウ酸ガラス繊維は、これまでの治療法では成功しなかった軟部組織の創傷を治癒するための驚くべき能力を示している¹¹。ガラス繊維は傷口に詰め込まれ、数日かけて分解される。ガラスが分解すると、軟部組織の修復を可能にするために体が必要とする化学物質が放出される。さらに、ガラスの繊維状の形態は、組織が再生するための経路を提供します。ガラスの分解速度は、化学物質が組織の成長プロセスにマッチした速度で体内に届けられることを保証するための重要なパラメータです¹²。

効率性と生物学的利用能を向上させる方法は、ターゲットとする薬物送達を中心となっています。多孔質または中空の微小球は、薬物の可用性を妨げる可能性のある生物学的化合物からの保護を提供しながら、壊れやすい薬物をカプセル化する可能性を提供します。多孔性は、改善された輸送効率を提供し、薬物の放出を制御するのに役立ちます。均一な微小球は、特定の標的部位への送達を改善するように製造することができます。また、それらは、投与頻度を減少させることができ、患者の適合性の改善を促進する。また、マイクロスフィアからの連続的な薬物放出によって、治療薬の望ましい血漿中濃度を維持することができます。

TheraSpheres は放射性イットリウム 90 を含む非分解性ガラス微小球である。これらは、原発性肝癌の治療のために肝動脈から注入され、肝臓に留まる。このような高エネルギーの放射線は、他の方法では効果的に局在化させることができません。

表面機能化メソポーラスシリカナノ粒子(MSN)もまた、効率的な薬物送達キャリアである。その合成により、バイオテクノロジーや生物医学的応用のために、その構造特性や化学的機能性を制御することが可能になります。また、動物や植物の細胞の細胞膜を貫通することもできます。MSN ベースのシステムは、そのような薬剤、遺伝子、および他の治療薬¹³の部位特異的送達と細胞内制御放出などの巨大な可能性を持っています。

ガラスは、医薬品の安全な保管にも不可欠です。ガラスバイアル、カートリッジ、シリンジ、アンプルの化学的不活性度は、長期保管中にガラスとの相互作用から薬を防ぐために、医薬品のアプリケーションのために最も重要である¹⁴。プラスチックは空気に対し比較的高い透過性を持ち、ほとんどのプラスチック成型で使用される焼結助剤は、大幅に医薬品の貯蔵寿命を短くしてしまいます。同様に、金属は酸化や反応性により薬の包装に適していません。

過去数年間の生物薬剤の開発の増加は包装部品への要求をより高めています。治療用タンパク質、ワクチン、モノクローナル抗体の分野で成長している生物学的に開発された製剤は、化学薬品に比べて、異物や環境変化に対する感受性が高らかに高い^{15,16,17}。すべての新しい薬物送達デバイスは、ガラスカートリッジまたはガラスシリンジを含んでいる。さらに、界面活性剤、塩、キレート剤を含む液体製剤は、さらに低い薬剤レベルと相まって、製剤と包装材料、ひいては容器閉鎖システム全体の相互作用に世界的に注目されるようになりました^{18,19,20}。

EpiPen®自動注射器カートリッジに使用されている化学強化ガラスは、例えば蜂に刺された際の重度のアレルギー反応による緊急時の治療に使用されています。EpiPen カートリッジに使用されるガラスは、化学的に耐久性があり、注入プロセスに伴う高圧に耐えられる機械的強度を持っていなければなりません。ガラスの化学強化技術の進歩により、このプロセスで数百万個のデバイスが強化され、これまでに一度も故障したことがありません。

放射線防護ガラスは、様々な環境下での健康保護のために使用されており、盛んに研究と開発が行われています。

さまざまな加工技術によって製造され、幅広い組成と複数の用途で使用されているガラスセラミックスは、健康分野（矯正歯科）では欠かせない材料となっています。

国連目標 4(質の高い教育)。

質の高い教育は、持続可能な開発の基盤です。また、包括的な教育は、世界の差し迫った問題に対する革新的な解決策を開発するために必要なツールを地域社会に提供することができます。充実した教育は、何千年にもわたって社会がどのように変化に対処してきたかを知ることができます。

国際ガラス委員会(ICG)は、ガラスの世界における国際協力のためのグローバルなプラットフォームを提供する機関であり、教育は常に中心的な目標となっています。ICG は、ガラスへの理解を促進し、ガラスの科学技術、芸術、歴史、教育の専門家間の交流を促進することを重要な使命としています。前世紀のガラス産業の統合により、生産量は増加し続けているにもかかわらず、雇用者数は減少しています。縮小しながらも活気のある雇用市場の中で、世界のガラス教育を活性化するために、2009 年から ICG の夏期・冬期講習会が開催されています。モンペリエ・サマースクールは 2019 年に第 11 回目を迎え、参加者も増え続けています。2018 年には、これらの ICG スクールの最初の 10 年を記念して、「Teaching Glass Better21」が出版されました。それはコースの内容を要約し、学校の歴史的な発展と哲学を捉え、学んだ教訓を説明し、他の人が後に続くための枠組みを提供しています。中国の武漢 ICG ウィンタースクールは 2019 年 10 月に 5 周年を迎え、今年は新たなスクールである NASSPM(North America Summer School on Photonic Materials) がケベック州で大成功のうちに開催されました。インドも同様のイベントを主催しており、おそらく 2022 年にも別のイベントを計画している。学校や学生のスタッフが交流することで、教育方法のベストプラクティスが広まり、刺激を受けることができました。

ICG の教育とアウトリーチへの取り組みは、ガラス業界の将来の才能を引きつけ、維持することを目的としたイベントやメンタリングプログラムの開催を目的としたユース・アウトリーチ委員会によっても強調されています。彼らには、持続可能な製造方法を開発・改善し、ガラスの用途を拡大することで、産業や社会に影響を与え、成功したキャリアのためのツールとネットワークを提供することを目的としています。

教育は最高レベルだけでなく、初等・中等教育の生徒や若い技術者にとっても重要です。このようなグループを対象とした積極的なプログラムは、例えばブラジルやインドで実施されています。私たちは、「ガラス年」が既存の実践をより広く共有し、新しいアイデアを刺激することを期待しています。教育は、若い世代に手を差し伸べ、指導するための最良の方法であり、日常生活の小さな変化から始めて、持続可能な開発目標とその達成方法に対する意識を高めます。小学校から大学までのあらゆるレベルで、さまざまな用途でのガラスの可能性を示し、気候変動と持続可能な社会の課題に立ち向かい必要不可欠な素材としてのガラスの可能性を示すために、複数の事例を取り入れる必要があります。

ガラスのリサイクルは現在、「ゆりかごからゆりかごまで」という循環型経済の完璧なモデルとして利用されています。健康、ICT、フォトニクス、建築、エネルギーなどの分野での応用は、生き生きとした地球の中で新しい持続可能な社会を構築するために、この素材が果たす重要な役割を示すことができます。

他の多くの国内外の組織も同様の目的を持っている。ICG は、英国のグラツィエやオーストラリアの GlaaS と連絡を取っている。したがって、IYOG2022 のもう一つの目標は、志の共有を奨励し、利用可能なコースの範囲を拡大することである。これには、基準の見直しとその維持・改善方法の検討、異なる部門間での教育経験の共有、国際的に利用可能なコースや教材のデータベースの構築・公開などが含まれる。

関連目標 5(男女共同参画)

世界は、ミレニアム開発目標(女子と男子の初等教育への平等なアクセスを含む)の下で、男女平等と女性のエンパワーメントに向けて前進を遂げているが、女性と女兒は、世界のあらゆる場所で差別と暴力に苦しみ続けている。ジェンダー平等は基本的人権であるだけでなく、平和で豊かで持続可能な世界のために必要な基盤です。

ドナルド・J・ジョンソン OECD 事務局長に続き、「地球上の頭脳の半分は女性の頭の中にある。今日、困難なのは、平等な権利の受容から機会均等の現実へと移行することです。女性と男性が世界中の権力構造の中で地位を占める機会が平等になるまで、この移行は完了しないでしょう」。

フェミニストの経済学者や社会学者は、女性の雇用状況を説明するために、2 つの強力な比喻を開発しました。「ガラスの天井」は、多くの女性が最高レベルの専門職に就くことの難しさ、権力のある地位にある女性の存在が非常に限られていること、そして多くの女性専門家の仕事が認知されていないことを説明しています。一方、「ねばつく床」とは、多くの女性が職業ピラミッドの下層を占めることを意味している。これは、「未熟練」とみなされる、臨時の、パートタイムの、低賃金の仕事のことです。これは、女性が働いている間は簡単には抜け出せず、娘たちが母親から受け継いでいる層である。

科学の世界は歴史的に女性を虐げてきたし、差別は今も続いている。2019年3月8日の時点では、欧米の科学界のエリートの中には、男性9人に1人の割合で女性が存在しています。ヨーロッパの女性科学者は、意思決定のポジションをほとんど占めておらず、仕事の評価も悪くなっていることが多い。彼らは研究のための資金やフェローシップをより少なく受け取っている。給与は男性研究者よりも低い。

ヘルシンキ・グループが2001年に発表した欧州技術評価ネットワーク(ETAN)報告書は、欧州の科学技術における女性の地位をレビューし、「女性の比率が低いことは、科学の目標である卓越性を達成することを脅かすだけでなく、無駄で不公平である」と結論づけています²²。

高等教育、研究機関、産業界における女性の地位に関する統計的レビューによると、国によって制度や構造に違いがあるにもかかわらず、科学分野の上級職に占める女性の割合は、どこの国でも極端に少なく、科学分野におけるジェンダーの偏りを実証していることが示されている。研究開発機関におけるジェンダーの不均衡は、大学と同様である。さらに、産業界の最高経営責任者に占める女性の割合は約3%である。これらのパターンを無視することは、差別を容認することである。この報告書は、世界共通の特徴である排除と隔離が、ガラスの分野やICGでも重複しているという衝撃的な図式を提示しています。

1995年の女性に関する国連北京会議を受けて、さまざまな報告書では、科学・技術分野で実施すべき主要な政策として、「主流化」、つまり男女平等を統合することの重要性が強調されてきた。研究の意思決定の場で多くの女性が活躍することを支持する議論は、人権や倫理から経済学に至るまで多岐にわたっている。社会正義や公平性のための議論は明らかですが、機能的な議論もあります。

多様性は創造性を高め、実質的に幅広い視点を提供し、異なる視点をより敏感に、より尊重することで、どのような組織においても非常に貴重なものとなります。

多様性は質を向上させます。現実に近い研究であればあるほど、人々が実際に必要とし、利用する結果や製品を生み出すことができます。

昨今の大学の経営戦略への志向性に見られるように、**男女共同参画は効率性を向上させます**。

女性の平等を一つの機関や分野で実現するのは、アカデミアから産業界まで、すべての分野で達成すべき目標なので難しい。しかし、女性の能力を最大限に発揮できるように様々なツールを活用することは可能であり、それはガラス分野やICGでも当てはまります。

ジェンダー平等を実現するためには、ICGと「ガラス年」のすべての活動において、ガラス業界のトップレベルの女性を委員会や全体会議、招待講演、CEOや経営委員会レベルの役職に採用することが必要です。国際ガラス年2022年は、女性が委員長を務める委員会を提案・支援し、すべての委員会は多様性に富んでいなければなりません。多様性をどのように管理し、それをイノベーションと創造性のエンジンにするかについて、企業やその他の人材のためのプラットフォームを教育することが、より明るく多様性のある未来を築くための最良の方法です。

女性の科学技術への参加の限界は、専門的なものではなく、社会的なものです。科学の世界で働くことを決めた女性に、中性的であるかのように見せかけながらも男性的なモデルに身を置くことを強いる、性差別的な教育モデルに由来しています。多様性とジェンダー政策の主流化を実施することに加えて、一方では質と専門的価値、他方では女性への期待と社会的イメージの間に生じる矛盾を克服しなければなりません。女性自身から別の科学を構築するためのコミットメントが必要であり、すでに自然界に内在している科学的な仕事にアプローチする別の方法が必要です。これは本当の選択肢を組み合わせたもので、職業と私生活の選択を必要としません。

ジェンダーは重要です。女性は世界の半分ですから、私たちはガラスに関連する世界の主要な協会(ICG)から始めて、ガラスの世界の半分にならなければなりません。

この課題は、研究や産業の世界を超えて、教育を共学化することから始めなければならないからです。変革的な知識を伝え、性の社会的関係を認識し、それを取り入れ、男女によって作られたより完全な文化への一歩となるような教え方をすることです。これは未来への挑戦です。

国連目標 6(きれいな水と衛生)。

すべての人が清潔で利用しやすい水は、私たちが住みたい世界の不可欠な側面であり、これを達成するために地球上には十分な真水があります。しかし、経済的なダメージやインフラの貧弱さにより、毎年、子どもを含む何百万人もの人々が、不十分な水の供給、衛生、衛生に関連した病気で命を落としています。

水不足、水質不良、不十分な衛生設備は、世界中の貧しい家庭の食糧安全保障、生計の選択、教育機会に悪影響を及ぼしています。

過去1世紀で何十億人もの人々の生活条件がかつてないほど向上した一方で、何億人もの人々がいまだに、きれいな水を手に入れることができない、あるいはほとんど手に入れることができないまま、絶望的な貧困の中で生活しています。多孔質フィルタ材料の開発は、安全な消費のために水を衛生化する機会を提供しています。このような用途のための多孔質ガラスには、発泡ガラスまたはスピノーダル分解によって2つの相に分離されたガラスが含まれる。典型的には、一方の相は化学的耐久性が低く、適切な処理によって溶出させることができる。これは、細孔の相互接続されたネットワークを残し、ここで細孔幅を制御することができる。このようなフィルタは、多くの国で特に緊急の課題となっている空気浄化にも利用することができます。

一方、表流水や地下水の汚染の主な原因は、産業排水、農薬、殺菌剤、肥料(農薬)の過剰使用、家庭廃棄物の埋め立てなどである。廃水処理は、様々な機械的、生物学的、物理的、化学的プロセスに基づいています。これは、有機汚染物質のろ過、凝集、殺菌、化学酸化などの多くの操作を組み合わせたものである。近年、飲料水を無害化するために、様々な有害有機化合物の光触媒分解が有効なプロセスとして提案されています。そのため、有機汚染物質を含む溶液に浸漬したコーティングガラスに太陽光を照射することで、酸化還元環境を作り出し汚染物質を破壊することができる。ほとんどの有機塩化物化合物や多くの殺虫剤、除草剤、界面活性剤、着色料は完全に酸化されて無毒化されます。チタニアのガラス/ガラスセラミックコーティングと太陽電池光触媒を組み合わせた多孔質ガラスフィルターを使用することで最高の結果が得られており、発展途上国での導入には費用対効果の高いソリューションとなっています。

国連目標 7(手頃な価格でクリーンなエネルギー)。

エネルギーは、今日世界が直面しているほぼすべての主要な課題と機会の中心となっています。雇用、安全保障、気候変動、食糧生産、所得向上のためであり、すべての人がエネルギーにアクセスすることは不可欠です。この目標に向けた取り組みは、他の持続可能な開発目標とリンクしているため、特に重要です。エネルギーへの普遍的なアクセス、エネルギー効率の向上、新たな経済的・雇用機会を通じた再生可能エネルギーの利用拡大に焦点を当てることは、より持続可能で包括的なコミュニティを創出し、気候変動のような環境問題への回復力を高めるために極めて重要です。

世界的なエネルギー需要の増加に伴い、再生可能エネルギーの発電とより効率的なエネルギー貯蔵を可能にする新技術が求められています。再生可能エネルギーの最も有望な供給源の一つが太陽です。太陽エネルギーは、世界で使い捨て可能な最大のカーボンニュートラルなエネルギー源です。1時間に地球を直撃する太陽光のエネルギーは、地球上で1年間に消費される全エネルギー(2004年には 4.7×10^{20} J)よりも多く(6.3×10^{20} J)多い。現在の再生可能エネルギーの利用は、世界のエネルギー消費量の約7%(2004年)である。太陽エネルギーの現在の利用率(0.04%)と、その巨大な未開発の可能性との間の巨大なギャップは、将来のエネルギー研究と材料技術における壮大な課題を定義しています。

太陽からのエネルギーは、太陽光発電、太陽熱発電、光バイリアクターなどの様々な技術を介して回収することができます。

ガラス質材料は、太陽エネルギー変換効率を高め、デバイス全体の機能性を可能にするために、これらの技術のそれぞれにおいて重要な役割を果たしている²³。太陽電池技術は、光子を物質に吸収させて電子を価電子帯から伝導帯へと励起する光電効果に基づいている。太陽電池には、結晶性シリコンやアモルファスシリコン、Cd-Te や銅インジウムガリウムサルファイド(CIGS)などの薄膜半導体など、さまざまな光電材料を使用することができます。

ガラスの設計は、半導体に付与できる太陽エネルギーの割合を増加させることによって、太陽エネルギー変換効率を向上させる上で重要な役割を果たしています。例えば、透明度の向上、光の捕捉、または反射防止コーティングによって、半導体に与えられる太陽エネルギーの割合を増やすことで、太陽エネルギー変換効率を向上させることができます。また、ガラスは、太陽電池の長期的な機能性を確保するための機械的および化学的保護を提供する。

太陽熱デバイスは、太陽からエネルギーを収穫するための代替方法を提供する。太陽熱エネルギーを利用して、放物線状のガラスミラーで太陽の光を反射させ、ミラーの焦点経路に沿ってガラス管に光を当てます。太陽エネルギーはガラス管内の流体を加熱し、発電機で電力を生産します。太陽熱コレクター用のガラスは、高い機械的強度、化学的耐久性、温度の大きな変化に対する寸法安定性を持っている必要があります。

光バイオリアクターは、太陽のエネルギーを収穫するための別のアプローチです。この方法では、ガラス管の中で緑藻類などの光栄養微生物を増殖させる。微生物が太陽光を浴びると、自然光合成によって太陽エネルギーを化学エネルギーに変換します。微生物の光エネルギー変換率が最大になるように、光透過率や温度などの光バイオリアクターの条件を最適化しています。

ガラスは太陽エネルギーだけでなく、風力エネルギーを効率的に電気に変換するためにも重要な役割を果たしています。風車の効率は、ガラス繊維強化複合材で作られた長いタービンブレードによって向上します。より長いブレードは、より高い剛性を持つガラス繊維強化複合材の開発を必要とします。また、ガラス繊維強化複合材の強度は、より大きく、より効率的で信頼性の高い風車を実現するための重要な特性でもあります。

また、ガラスをベースにした固体電池など、エネルギー貯蔵のための新しいガラス質材料も開発されています。ここでの目標は、エネルギー貯蔵密度の向上、充電時間の短縮、充電可能なサイクル数の増加(すなわち、サイクル性能の向上)である。また、固体電池の長期的な安全性も最重要課題である。固体電池の性能には、十分に高い移動度を有する荷電種が必要である。一般的に、 Li^+ または Na^+ イオンが導電種として使用されます。ガラスベースとガラスセラミックベースの材料の両方が適切な固体電解質材料^{24, 25, 26, 27}として提案されている。

ガラスは原子力発電においても重要な役割を果たしており、その結果、高レベル放射性廃棄物と低レベル放射性廃棄物の両方が発生し、完全に崩壊するには地質学的な時間スケールを必要とする。したがって、核廃棄物を安全に長期保管することは、環境を保護し、廃棄物処分場の近くに住む人間や野生生物の安全を確保するための重要な関心事である。液体の核廃棄物を貯蔵するための効果的な技術の一つは、ガラス質マトリックス中でガラス固化して固定化することである²⁸。もちろん、廃棄物貯蔵の長期的な安全性を確保するためには、ガラスが数千年にわたって安定しており、化学的に耐久性がある必要がある。現在、放射性廃棄物のより高い溶解度を可能にするガラスの化学的特性を開発するために、新しいガラスが設計されている。同時に十分に高い耐久性を確保しています。

ガラスセラミックスもまた、核廃棄物の固定化のために提案されており、ガラスと比較してさらに高密度の廃棄物貯蔵をサポートする可能性がある²⁹。

ガラスは水素自動車の開発においても役割を果たす可能性がある。課題の一つは、少量・軽量で水素貯蔵を実現することである。可能な解決策は、1 から 100 μm の範囲の直径を持つ中空ガラス微小球 (HGM) によって提供されています。1 つは、高温高压下での HGM への薄い壁を介した水素の急速な拡散を利用することができます。ガラスは室温まで冷却された後、トラップされます。蓄積された水素の迅速な放出は、例えば、赤外線ランプを使用して放出速度を加速する光誘起アウトガスによって可能である³⁰。

国連目標 9(産業、イノベーション、インフラ)

インフラ(輸送、灌漑、エネルギー、情報通信技術)への投資は、持続可能な開発を達成し、世界中のコミュニティに力を与えるために不可欠である。生産性と所得の向上、健康と教育の成果の向上には、このような資本支出が必要であることは、長い間認識されてきました。製造業は経済発展と雇用の重要なドライバーですが、製造時の CO₂ 排出量も考慮しなければなりません。

技術の進歩は、資源やエネルギー効率の向上などの環境目標を達成するための努力の基盤となる。技術とイノベーションがなければ工業化は実現しないし、工業化がなければ開発は実現しない。製造業を支配するハイテク製品の効率化にはさらなる投資が必要であり、人と人とのつながりを高める情報通信サービス (ICT) にも力を入れるべきである。ガラス製品は、これらの分野の多く、特に ICT 技術において重要な役割を担っています。

低損失ガラス光ファイバの発明は、インターネットの発展に欠かせないものであり、世界中で指数関数的に増加する通信レベルを可能にしました³¹。光ファイバは、世界的な通信革命につながるパラダイムシフトを可能にした物理的な支柱です。光ファイバは、経済・産業のグローバル化のプロセスの基盤となる、知識社会を支える重要な要素である。

帯域需要の拡大に伴い、信号増幅を最小限に抑えながら、より多くのデータを長距離伝送するための新しい光ファイバ技術が開発されています。そのためには、材料設計の改善やプロセスの最適化により、光ファイバの減衰をさらに低減する必要があります。フォトニック結晶ファイバも低損失の光伝送を可能にする可能性がありますが、この技術が長距離伝送に適したものになるまでには、重要なプロセス上の課題を克服しなければなりません³²。また、量子通信を可能にする新しいガラス繊維も開発されており、これは量子的に絡み合った光子を介して安全な通信を可能にする³³。ガラス繊維は、「モノのインターネット」、すなわち、建物内のコンロや冷蔵庫などの日常的な電化製品や物体の相互接続を促進する上で重要な役割を果たすことになります。この接続性により、これらの家電製品はデータの送受信が可能になり、スマートディスプレイを内蔵することも可能になります。

より一般的には、フォトニクスは今日では幅広い応用を可能にする技術であり、フォトニクスの進歩の多くはガラスやガラスセラミックスの使用に依存しています。一方では、フォトニクス産業は、その中心に光学ガラスを持つ多くのコンポーネントに依存しています。実際、ガラスは球面レンズ、非球面、プリズム、ビームスプリッター、光ファイバ、アクシコン、その他の光学部品の製造に不可欠です。

同様に、光通信産業はガラス部品やデバイスに依存しています。光ファイバに接続された情報束のアドレス指定やフィルタリングは、主に集積化された光回路によって行われています。これらの回路は、ガラスの光導波路が保証する非常に低い損失のためにガラスで製造されるか、ガラス、ガラス質材料(多くのポリマーなど)、半導体の異なる特性を利用できるハイブリッド材料構造で製造されています。最近の進歩は、無線信号を光ファイバケーブル(RoF、Radio over Fiber)を介して伝送することができる無線通信の分野に関係しており、例えば、同じアンテナから同時に5GやWiFiなどの無線アクセスを容易にすることができます。フォトニック RoF システムに必要なミリ波周波数以降の無線周波数生成は、Er-Yb をドープしたガラス導波路³⁴を使用して、ガラスレーザーによって実行される可能性があります。

ファイバーレーザーは、あまりにも、希土類イオンをドープしたガラスのユニークな特性を利用しています。彼らは、他の商用レーザーと比較して優れた性能、コンパクトさ、汎用性の恩恵を受け、したがって、アプリケーションの巨大な範囲のために世界中の多くの産業で標準として使用されています。臨床手術や治療での使用も拡大しています。ファイバーレーザーは、技術的な応用ツールであるだけでなく、幅広い非線形現象の研究や非線形プロセスの理解を深めるための優れたプラットフォームとなっています³⁵。

結晶半導体からの発光に基づく LED 光源は、白色光を発生させたり、発光色を適切に調整したりするために蛍光体を組み込む必要があります、これは多くの場合、ガラスとの複合品や希土類をドープしたガラス薄膜である。光の通過を操作することを可能にする一次元フォトニック結晶構造は、異なる屈折率を持つガラス層の堆積によって実現することができます(例えば、ゾルゲルプロセスを使用して)。2D および 3D フォトニック結晶は、ガラスナノ粒子の秩序ある配列を自己組織化することによって作製されます。センシングへの応用に関心を集めていますが、ガラスマイクロおよびナノ球体は、他の多くの問題への解決策を提供する可能性もあります³⁶。

もう一つの新興分野は、柔軟で伸縮性のあるフォトニクスである。極薄ガラスの上に蒸着された薄膜の集積光回路の製造は、近い将来、フレキシブル・エレクトロニクスで起きていることと同様のブレークスルーにつながるかもしれないと想定されている。ウェアラブルなフォトニック・モニターやセンサーはすぐに手の届くところにあるでしょう³⁷。

ガラスはまた、ブラウン管をベースにした初期のテレビから最近のフラットパネルディスプレイまで、情報表示において革命的な役割を果たしてきました³⁸。これらのディスプレイの解像度が、より小さなピクセルサイズを使用して向上するにつれて、ハイテクガラス基板への要求はますます厳しくなっています³⁹。ディスプレイを構成する薄膜エレクトロニクスがガラス基板上に堆積される際の体積緩和の大きさを最小にするため、ディスプレイ製造プロセス中の寸法安定性を向上させた新しいガラスを開発する必要があります。また、折り曲げ可能な、あるいは折り畳み可能なディスプレイを可能にするための新しい超薄型ガラスも開発されています⁴⁰。また、拡張現実や仮想現実装置を通して情報を視覚化するための先進的なガラスも開発されており、これはおそらく情報表示技術の次の革命を表していると思われます⁴¹。

情報の伝達と表示における重要な役割に加えて、ガラスはデータ保存にも革命をもたらしました。カルコゲナイドをベースとした相変化メモリは、ガラス状態と結晶状態の間で局所的な領域を切り替えて、1ビットまたは0ビットを表すことで、書き換え可能なデータ記憶を可能にしました⁴²。高密度磁気メモリ・ディスクは、高強度・高剛性のガラス基板上に構築されており、回転速度の高速化と高密度メモリ・ストレージを可能にしている⁴³。

また、ガラスは次世代ホログラフィックメモリのための有望な材料であり、非常に高いデータ記憶密度を可能にする可能性がある⁴⁴。

新しいガラス加工技術の中でも、ゾルゲルは重要な役割を果たしている。これは液相、湿式化学に基づく技術で、過去 50 年間着実に成長してきたが、最近では光学、オプトエレクトロニクス、フォトニクスへの応用が活発化してきている。ゾルゲルは、低温、省エネルギー、低コストの技術であり、特にガラス質のコーティングや膜に適しています。このようなコーティングは、機械的および腐食保護、反射防止、疎水性、光触媒セルフクリーニングおよび燃料電池、太陽電池、固体照明および光通信における光学およびオプトエレクトロニクス機能性のため光フィルタ、スイッチ、導波路などのディスクリートデバイスから集積化された光回路に使用されています。

ガラスは交通技術においても重要な役割を果たしており、自動車の安全性に革命をもたらすスマートなフロントガラスの設計と製造をリードしています。板ガラスは、自動車からクルーズ船、列車、航空機、バスに至るまで、自動車や交通機関の幅広い用途で、フロントガラス、バックライト、窓、サンルーフなどに使用されています。

革新的なハイテクグレーディングソリューションは、車両の熱損失を最小限に抑え、一年中快適な熱環境を提供するために開発されてきました。自動車産業向けのグレーディングソリューションは、自動車メーカーや同乗者のために、安全性、セキュリティ、耐久性だけでなく、スタイルや快適性の面でも最高の性能を提供する必要があります⁴⁵。

クリーンで再生可能なエネルギーにおけるガラス製品の重要な役割は、目標 7 に記載されています。

国連目標 11(持続可能な都市とコミュニティ)。

都市は、アイデア、商業、文化、科学、生産性、社会開発などの拠点です。都市は、人々の社会的・経済的な発展を可能にしてきました。都市に住む人の数は 2030 年までに 50 億人に増加すると予測されており、都市化の影響に対処するためには、効率的な都市計画と管理を行う必要があります。一般的な問題には、混雑、基本的なサービスを提供するための資金不足、適切な住宅の不足、インフラの衰退、大気汚染の増加などがある。また、固形廃棄物の安全な除去や管理など、急速な都市化に関連した課題は、都市が引き続き繁栄し、成長し続けることができるような方法で克服しなければならない。

目標 9 の議論に続き、現代の交通機関の発展にはガラス技術が不可欠であることを繰り返す必要があります。例えば、化学的に強化されたガラスは、飛行機のcockpitのフロントガラスの安全性を確保するために不可欠である。また、燃費と乗客の安全性を向上させるために、自動車のフロントガラス用に軽量で高強度の新しいガラスが開発されている⁴⁶。また、ガラス材料は、特に自動運転車の開発に伴い、自動車の内装でより顕著な役割を果たすようになるだろう。人間が車の運転に積極的な役割を果たすことが少なくなると予想されるため、ガラス製のディスプレイやタッチスクリーンは、路上での娯楽やコネクティビティのための新たな選択肢を提供することになるであろう。しかし、ガラスおよびガラス産業は、燃料消費量と CO₂ 排出量を劇的に削減する革新的な製品を提供することで、これにとどまらず、これまで以上の成果を上げようとしています。

このようにして、革新的で技術的な競争力と輸送分野のグリーン化に貢献するために積極的な役割を果たしています。軽量化、太陽熱制御グレージング、電気自動車専用グレージングの開発は、特にこれを達成するために重要な役割を果たしています。

新開発のガラスとグレージングユニットは、冷暖房の必要性を大幅に削減し、エネルギー消費とそれに伴う二酸化炭素の排出量を削減することができます。ガラスコーティングの進歩により、エネルギーニュートラルな建物や、エネルギーグリッドに貢献する建物の開発が可能になるでしょう。

現代の住宅や商業建築のデザインでは、窓の面積がますます大きくなっています。このようなデザインの傾向は、エネルギー効率の高いグレージングの進化によって支えられています。これらのエネルギー効率の高いグレージングの多くは、ある程度の紫外線防止機能も備えています⁴⁷。最近の TNO の研究では、EU 加盟国 28 カ国における高性能グレージング⁴⁸による省エネと CO2 排出量削減の可能性を、2030 年と 2050 年の両期間で定量化しています。最大の可能性に加えて、EU のすべての建物のすべての窓に高性能グレージングが装着された場合の、さまざまな窓の交換率の影響を、ベースラインシナリオと比較してシミュレートしています。この研究では、最近の科学的な情報源に基づいて、現在の欧州の建築物のストックと性能、エネルギーミックスの進化、高性能冷暖房機器の普及状況などの入力パラメータを定義しています。

調査した 2 つのシナリオによると、高性能グレージングを装備した窓は、2030 年には 7,550 万 toe (ton of oil equivalent)、2050 年には 6,730 万 toe の省エネを実現する可能性があることが示されています。これは、2030 年には 9,420 万トン、2050 年には 6,850 万トンの年間 CO2 排出量削減に相当します。この研究では、2030 年には建物のエネルギー消費量を 30%削減することに相当する省エネの可能性があると示されており、窓がエネルギー性能の重要な要素であることが示されている。欧州連合(EU)は、2050 年までに最初の気候変動に左右されない経済体になることを目標としています。この野心的な目標を達成するためには、ヨーロッパがエネルギー生産の脱炭素化に成功したとしても、建物のエネルギー消費量を大幅に削減する必要があります。

気候変動に左右されないヨーロッパへのグレージングの貢献度はさらに高くなる可能性があります。TNO の調査では考慮されていませんでしたが、切替可能/エレクトロクロミックグレージング、グレージングと一体化した太陽光発電などの新しいグレージング製品は、さらなる CO2 削減をもたらす可能性があります。

ガラス容器もまた、都市の固形廃棄物(SUW)を削減するための重要な役割を果たしている。リデュース、リユース、リサイクル「廃棄物階層」は、廃棄物の発生量を減らし、全体的な廃棄物管理プロセスを改善し、持続可能な生活を実現するための指針を提供するための主要なルールを構成しています。SUW の 60%以上は容器包装であり、そのほとんどは単回使用であり、通常は再生不可能な原材料から製造されているか、再生可能であってもその再生速度よりも早く利用されている。

保証期間の長い耐久性のある商品を消費し、使い捨てのものを避けることで削減が可能です。容器の場合、ホテルやレストランではリターナブルのガラス瓶が消費され、スーパーではシングルユースの容器が好まれている。ガラス製の容器は、主にジャーや鍋などが多いが、キッチンでの収納にはリユースされることが多い。3 つ目の R、リサイクルは、対象物を新しいアイテムに形を変えることができる原材料に変えることを意味します。ガラスは、概念のハードな意味でリサイクル可能な唯一の容器です。1 つのガラス瓶が別のガラス瓶を生成します。

ガラスは無限にリサイクルが可能なので、「ゆりかごからゆりかごへ」という「循環型経済」の完璧な例と言えます。さらに、ガラス容器は、欧米では唯一、グラスと食品安全スタンプを取得しています。

クリーンで再生可能なエネルギー、特に住宅用の太陽光発電や低エネルギーLED 照明の使用は、エネルギー消費量を削減し、CO₂ 排出量や都市の汚染を減らすための他の方法を提供しています。

環境に配慮した輸送から効率的な建築用ガラス、太陽光発電パネルの設置から 3R ルールを尊重したガラス容器の使用まで、ガラスは天然資源の利用を向上させ、CO₂ 排出量や汚染を減らし、市民生活を向上させるために必要不可欠なものです。

文化は、都市の生活と住民の福祉を向上させ、発展させるために必要不可欠な要素であり、その表現方法は多岐にわたります。文化機関の中でも、博物館は、都市とコミュニティを包括的、安全、持続可能なものにする上で戦略的な役割を果たしている。

博物館は、人類とその環境の有形無形の遺産が、教育、研究、娯楽を目的として保存、研究、展示される場所である。コミュニティは、博物館を安全で、包括的で、アクセスしやすい環境の中でアイデアを共有するためのスペースであると認識している⁴⁹。

人々に開かれ、コミュニティに組み込まれた学際的な機関である博物館は、市民の間でガラスの知識を高める上で戦略的な役割を果たすことができます。美術館は、普及、教育活動、実地体験のために重要な役割を果たしている。

博物館の起源が西洋の社会と文化に根ざしているとしても、世界のほとんどの地域社会は博物館をホストし、人々の生活の質と福祉を向上させながら、学習とスキル開発のためのリソースを与え、人々に力を与えるツールとして認識しています。

芸術、科学、考古学、歴史、社会科学は、ガラスのコレクションを持つ専門のガラス博物館や博物館で会うことができます。古代から現代に至るまで、美術品だけでなく、日常生活で使用されるガラスや、産業や科学に特化したガラスも展示されています。

博物館には、何世紀にもわたってガラスやガラス製品を生産するために必要とされた原材料や技術を説明し、それらを作成し、使用した人々の生活に洞察を与える、伝えるための多くの物語があります。

ガラス博物館には、ガラスやその歴史、使用方法についての知識を高めることを目的とした、子供から大人までを対象とした教育プログラムがあります。それらは、包括的で公平な質の高い教育を保証し、すべての人に生涯学習の機会を提供しています(目標 4 も参照)。

多くのガラス博物館には、学習のための貴重な機会を提供することができるホット&コールド・ワークショップやスタジオが設置されています。また、ガラス製造の活動は、包括性を生み出すツールでもあります。

国連目標 12(責任ある消費と生産)。

持続可能な消費と生産は、資源とエネルギーの効率化、持続可能なインフラを促進し、基本的なサービスへのアクセス、環境に配慮した適切な仕事、そしてすべての人により良い生活の質を提供することを目的としています。現在、天然資源の消費は、特に東アジアで増加している。各国は、大気汚染、水質汚染、土壌汚染に関する課題に取り組んでいます。

持続可能な消費と生産は、「より少ない資源でより多くのことを、より良い方法で」行うことを目的としているため、生活の質を向上させながら、ライフサイクル全体に沿って資源の使用、劣化、汚染を減らすことで、経済活動から得られる純福祉利得を増大させることができます。また、生産者から最終消費者までを巻き込んだサプライチェーンの運営にも大きな焦点を当てる必要があります。

ガラスは多くの点で環境に優しい素材です。ほとんどのガラスは、砂、ソーダ灰、石灰石などの安全で入手しやすい原材料から作られています。また、ガラスは何度でも再利用し、リサイクルすることができます。より多くのリサイクル材料を使用することに加えて、ガラス業界では現在、ガラス製造における二酸化炭素排出量を削減するために、よりエネルギー効率の高い熔融技術を開発しています。ガラス製造の環境への影響を低減するための 1 つのアプローチは、従来のソーダ石灰シリカガラスと比較して熔融温度が低い代替ガラス組成物の開発である。最終的な目標は、カーボンニュートラルな製造を達成することです。

目標 11 で述べたように、ガラス産業は、ガラスから容器、自動車のフロントガラスに至るまで、リサイクル可能な製品を提供しています。ガラスは無限にリサイクル可能な唯一の素材である。

消費者に基準やラベルを通じて適切な情報を提供し、持続可能な公共調達に取り組むことで、持続可能な消費とライフスタイルについて消費者を教育することが不可欠である。「循環型経済」の概念を市民に理解してもらい、地球環境を壊さずにライフスタイルを維持する方法を説明することで、地球環境の変化に対応していく必要があります。

国連目標 13(気候行動)。

気候変動は現在、すべての大陸のすべての国に影響を与えています。それは国家経済を混乱させ、生活に影響を与え、人々、地域社会、国に損害を与えています。気象パターンは変化し、海面は上昇し、気象現象はより極端になり、温室効果ガスの排出量は人類史上最高レベルに達しています。

現在、各国がよりクリーンで回復力のある経済へと飛躍することを可能にする、手頃な価格で拡張性のあるソリューションが利用可能になっています。より多くの人々が再生可能エネルギーや、排出量を削減し、適応策を強化するための様々な手段に目を向けるようになり、変化のペースは加速しています。しかし、気候変動は国境を越えた世界的な課題です。開発途上国が低炭素経済に向かうためには、国際的なレベルでの協調が必要です。ガラス業界では、低炭素経済の実現に向けて脱炭素化への道筋を模索しています。

ガラス工芸品は、その省エネ機能のために、また、バッチ熔融のための相対的に高いエネルギー需要とガラス製造時の CO₂ の発生にもかかわらず、気候変動と闘う上で大きな役割を果たしています。ガラス溶解のエネルギー効率は、リサイクル可能な消費者廃棄物ガラスの使用とガラス製品の軽量化により、過去数十年で大幅に向上しています(例えば、容器用ガラスの場合は 25%(≒300kg の CO₂/1000kg のガラス)。

ガラス窓は当たり前のように使われていますが、住宅やオフィスに光を取り入れると同時に、厳しい気象条件から住人を守ります。²⁷ 今日、ガラスは、その実用的な機能性とその魅力的な美学の両方のために広く建築に使用されています。

新しく開発された建築用ガラスの中には、フォトクロミック⁵¹やエレクトロクロミック⁵²などの素材があり、窓が太陽光の状態にダイナミックに適応してエネルギー効率を向上させることができます。

真空断熱グレージングもエネルギー効率を向上させた技術です⁵³。従来の二重窓ガラスは、2枚の窓ガラスの間にアルゴンなどの希ガスが充填されており、熱の移動を抑えていましたが、真空断熱グレージングはその代わりに真空を使用しています。真空断熱ガラスでは、真空が希ガスの代わりになり、熱の移動をさらに減らします。真空断熱グレージングでは、ガラス窓ガラスの強度がより重要になります。なぜならば、2枚のガラス窓ガラスの平行な平面形状を維持するために小さなスペーサーが必要であり、スペーサーとガラスの接触点付近で局所的な応力が発生するからです。また、真空中への空気の拡散を防ぐために、ガラス窓ガラスは完全に密閉されていなければなりません。

建築空間では、住宅やオフィスの「騒音公害」を低減するために、音響減衰を高める合わせガラスが開発されている。例えば、最近の特許には、吸音性を高めるために、2枚のガラスの間に粘弾性音響減衰層を設けることが含まれている⁵⁴。

建築物の低放射率複層ガラス、断熱材のためのミネラルウールおよび発泡ガラス、風力タービン、軽量車両の製造のための連続フィラメントガラス繊維などの省エネガラス製品は、その製造に伴うエネルギー消費量を耐用年数中に数倍に補償する。例えば、単窓から複層ガラスの窓への交換では、断熱効果により年間 60kg の CO₂ を削減できますが、製造時の排出量は約 25kg の CO₂/m² です。同様に、ガラス容器の普及促進は、3R ルールを満たすだけでなく、再生ガラスを使用することでガラス炉のエネルギー消費量を削減できるという点でも重要です。実際、ガラスを溶かすのに必要なエネルギーは、バッチの 10%をカレットに置き換えるごとに 2.5%削減されます。100%グリーンボトルのリサイクルでは、これは 20%以上、琥珀色のガラスでは 15%以上の削減を意味します。

国連目標 14(水の下での生活)。

世界の海-その温度、化学、海流、生命-は、地球を人類が住みやすい環境にするグローバルなシステムの原動力となっています。私たちの雨水、飲料水、天候、気候、海岸線、食料の多く、そして私たちが呼吸する空気中の酸素さえも、最終的にはすべて海によって供給され、調節されています。歴史の中で、海と海は貿易と輸送のための重要な役割を果たしてきました。この重要な地球資源を慎重に管理することが、持続可能な未来の重要な特徴です。

現在、プラスチック廃棄物は世界の海やその他の水域を汚染しています。魚や他の海洋動物によるプラスチックの摂取は、魚や魚介類を食べる人間の健康問題の原因にもなっています。プラスチックに含まれる毒素は、免疫障害、先天性欠損症、数種類の癌を含む多くの健康問題を引き起こす可能性があります。ガラスの包装は、この問題に対処し、プラスチックの廃棄物を排除するために、プラスチックに代わる安全でクリーンな代替品として使用することができます。

ガラスは、砂、ソーダ灰、石灰石などの自然で安全で豊富な材料から作られています。また、ガラスは前述のように無限にリサイクルが可能です。プラスチックを排除することは、水の下での生命の健康と、食生活の一部として魚介類を摂取する人間の健康を促進することになります。

国連目標 17(目標達成のためのパートナーシップ)。

持続可能な開発アジェンダを成功させるには、政府、民間企業、市民社会の間のパートナーシップが必要です。原則と価値観、共通のビジョン、そして人々と地球を中心に据えた共通の目標に基づいて構築されたこのような包括的なパートナーシップが、世界、地域、国、地域レベルで必要とされています。

持続可能な開発目標を達成するために、官民の資源を動員し、方向転換し、開放するためには、緊急の行動が必要です。これらには、グリーンエネルギー、インフラ、輸送、情報通信技術などが含まれます。

国際ガラス年 2022 の主な目標は、政府、研究開発と学術、企業と市民社会の間のパートナーシップを活性化することです。このアプリケーションの鍵となるのは、持続可能な社会の構築を可能にする素材としてのガラスの重要性を支持する多くの論拠です。ガラスは、その比類なき汎用性と技術力で、通信、光学、エネルギー、医療などの分野で、多くの文化的・科学的進歩をもたらしてきました。しかし、ガラスは科学だけではありません。ガラスは芸術でもあり、この素材の歴史は人類の歴史と進化を共有しています。

2022 年の「国連ガラス年」は、私たちの社会におけるガラスの技術的、科学的、経済的、歴史的、芸術的な役割を強調します。また、教育プログラムや美術館での展示を通して、技術、社会史、芸術の多色刷りの糸を結びつけます。

これらの野心的な目標を達成するためには、以下の間のネットワークを促進することが鍵となります:あらゆるタイプのガラス協会、大学、大学、学校、研究開発センター、生産者やサプライヤーを含む産業界、美術館や市民社会などの間のネットワーク化を促進することが鍵となります。そのためには、政府、産官学、学識経験者、文化センターなどがこのイニシアティブを支援し、IYoG2022 に関連した幅広い活動を推進していくことが必要です。私たちは、ガラスが、より発展した、より公正な社会を基盤とした持続可能な地球を構築するための透明なツールであることを示すことに全力を尽くします。

参考文献

- 1 THE AGE OF GLASS, A Cultural History of Glass in Modern and Contemporary Architecture, Stephen Eskilson , Bloomsbury Academic, Bloomsbury Publishing PLC. (2018)
- 2 Morse, D.L., & Evenson, J.W. (2016). *International Journal of Applied Glass Science*, 7, 409.
- 3 Varshneya, A. K., & Mauro, J. (2019). *Fundamentals of Inorganic Glasses* (3 ed.). Elsevier
- 4 Stern, M. E. (2007). Glass in a Philological Context. *Mnemosyne*, 60, 341-406.
- 5 Fu, Q., Saiz, E., Rahaman, M. N., & Tomsia, A. P. (2011). Bioactive glass scaffolds for bone tissue engineering: state of the art and future perspectives. *Materials Science and Engineering*, 31, 1245.
- 6 Jones, J. R., Brauer, D. S., Hupa, L., & Greenspan, D. C. (2016). Bioglass and Bioactive Glasses and Their Impact on Healthcare. *International Journal of Applied Glass Science*, 7, 423-434.
- 7 Hench, L. L., & Polak, J. M. (2002). Third-Generation Biomedical Materials. *Science*, 1014-1017.
- 8 Hoppe, A., Güldal, N. S., & Boccaccini, A. R. (2011). A review of the biological response to ionic dissolution products from bioactive glasses and glass-ceramics. *Biomaterials*, 2757-2774.
- 9 Lindfors, N. C., Hyvönen, P., Nyyssönen, M., Kirjavainen, M., Kankare, J. & Gullichsen, E. (2010). Bioactive glass S53P4 as bone graft substitute in treatment of osteomyelitis. *Bone*, 47, 212-218.

- 10 De Giglio, R., Stefani, I., Mondello, T., De Filippis, G., & Mazzone, A. (2018). BIOACTIVE GLASS S53P4: a new opportunity for the treatment in the diabetic foot osteomyelitis. *European Journal of Internal Medicine*, *54*, e15-e16.
- 11 Wray, P. (2011). Materials for nuclear energy in the post-Fukushima era. *American Ceramic Society Bull.*, *90*, 24.
- 12 Rahaman, M. N., Day, D. E., Bal, S. B., Fu, Qiang., Jung, S. B., & Bonewald, L. F. (2011). Bioactive glass in tissue engineering. *Acta Biomaterialia*, *7*, 2355.
- 13 Vallet-Regí, M., Colilla, M., Izquierdo-Barba, I., & Manzano, M. (2018). Mesoporous Silica Nanoparticles for Drug Delivery: Current Insights. *molecules*.
- 14 Dumbleby, V. (1953). Glass for pharmaceutical purposes. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, *5*, 969.
- 15 Gerhardt, A., Mcgraw, N. R., Schwartz, D. K., Bee, J. S., Carpenter, J. F., & Randolph, T. W. (2014). Protein Aggregation and Particle Formation in Prefilled Glass Syringes. *Journal of Pharmaceutical Science*, *103*, 1601-1612.
- 16 Gerhardt, A., Nguyen, B. H., Lewus, R., Carpenter, J. F., & Randolph, T. W. (2015). Effect of the Siliconization Method on Particle Generation in a Monoclonal Antibody Formulation in Pre-filled Syringes. *Journal of Pharmaceutical Science*, *104*, 1601-1609.
- 17 Pillai, S. A., Chobisa, D., Urimi, D., & Ravindra, N. (2016). Pharmaceutical Glass Interactions: A Review of. *Journal of Pharmaceutical Science and Research*, *8*(2), 103-111.
- 18 Iacocca, R. G., & Allgeier, M. (2007). Corrosive attack of glass by a pharmaceutical compound. *Journal of Materials Science*, *42*, 801-811.
- 19 Guadagnino, E., & Zuccato, D. (2012). Delamination propensity of pharmaceutical glass containers by accelerated testing with different extraction media. *Journal of Pharmaceutical Science*, *66*(2), 116-125.
- 20 Rothaar, U., Klause, M., & Hladick, B. (2016). *Journal of Pharmaceutical Science and Technology*.
- 21 Takada, A., Parker, J., Durán, A., & Bange, K. (s.f.). *Teaching Glass Better* (11 ed.).
- 22 Directorate-General for Research and Innovation (European Commission), E. C. (2000). *Promoting excellence through mainstreaming gender equality: A report from the ETAN expert working group on women and science*. EU Publication, Science policies in the European Union.
- 23 Deubener, J., Hensch, G., Moiseev, A., & Bornhöft, H. (2009). Glasses for solar energy conversion systems. *Journal of the European Ceramic Society*, *29*, 1203-1210.
- 24 Hayashi, A., Ohtomo, T., Mizuno, F., Tadanaga, K., & Tatsumisago, M. (2003). All-solid-state Li/S batteries with highly conductive glass-ceramic electrolytes. *Electrochemistry Communications*, *5*, 701-705.
- 25 Takada, K., Aotani, N., Iwamoto, K., & Kondo, S. (1996). Solid state lithium battery with oxysulfide glass. *Solid State Ionics*, *86-88*, 877-882.
- 26 Martin, S. W. (1991). Ionic Conduction in Phosphate Glasses. *Journal of the American Ceramic Society*, *74*, 1767.
- 27 Braga, H. M., Murchison, A. J., Ferreira, J. A., Singh, P., & Goodenough, J. B. (2016). Glass-amorphous alkali-ion solid electrolytes and their performance in symmetrical cells. *Energy & Environmental Science*, *9*, 948.
- 28 Vienna, J. D. (2010). Nuclear Waste Vitrification in the United States: Recent Developments and Future Options. *International Journal of Applied Glass Science*, *1*, 309-321.
- 29 McCloy, J. S., & Goel, A. (2017). Glass-ceramics for nuclear-waste immobilization. *MRS Bulletin*, *42*, 233-240.
- 30 Righini, G. C. (2018). Glassy Microspheres for Energy Applications. *Micromachines*, *9*(8), 379.
- 31 Maurer, R. D. Glass Fibers for Optical Communications. *Proceedings of the IEEE*, *61*(4).
- 32 Russell, P. (2003). Photonic Crystal Fibers. *Science*, *299*, 358-362.
- 33 Vaziri, A., Weihs, G., & Zeilinger, A. (2002). Experimental Two-Photon, Three-Dimensional Entanglement for Quantum Communication. *Physical Review Letters*, *89*.
- 34 Arab, N., Bastard, L., Poëtte, J., & Bronquin, J.-E. (2019). Glass dual-mode laser for radio-frequency carrier generation. *Integrated Optics: Devices, Materials, and Technologies XXIII*, 10921.
- 35 Introduction to the Special Issue on Fiber Lasers. (2018). *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS*, *24*(3).
- 36 Righini, G. C. (2019). *Glass Micro- and Nanospheres: Physics and Applications*. Jenny Stanford Publishing.
- 37 Li, L., Lin, H., Qiao, S., Huang, Y.-Z., Li, J.-Y., Michon, J., & others. (2018). Monolithically integrated stretchable photonics. *Light: Science & Applications*, *7*.

- 38 Ellison, A., & Cornejo, I. (2010). Glass Substrates for Liquid Crystal Displays. *International Journal of Applied Glass Science*, 1, 87-103.
- 39 Zheng, Q., & Mauro, J. C. (2017). Variability in the relaxation behavior of glass: Impact of thermal history fluctuations and fragility. *The Journal of Chemical Physics*, 146.
- 40 Garner, S. M. (2017). Flexible Glass: Enabling Thin, Lightweight, and Flexible Electronics. *John Wiley & Sons*.
- 41 Chen, C., Ho, T., & Khoo, I. C. (2017). Normally Transparent Liquid-Crystal Smart Glass for Augmented Reality Head-Up Displays. *Frontiers in Optics 2017, OSA Technical Digest*.
- 42 Wuttig, M., Bhaskaran, H., & Taubner, T. (2017). Phase-change materials for non-volatile photonic applications. *Natural Photonics*, 11, 465.
- 43 T. Takahashi and M. Ueda. (2017) U.S. Patent 9,583,128
- 44 Cheben, P., & Calvo, M. L. (2001). *Applied Physics Letters*, 78.
- 45 Glass - Contributing to innovative, green and safe transport solutions for Europe. (2018). *Glass for Europe*.
- 46 Leonhard, T., Cleary, T., Moore, M., Seyler, S., & Fisher, W. K. (2015). *SAE International Journal of Passenger Cars—Electronic and Electrical Systems*, 8(25).
- 47 Arbab, M., Shelestak, L. J., & Harris, C. S. (2005). Value-Added Flat-Glass Products for the Building, Transportation Markets. www.ceramicbulletin.org.
- 48 *Glass For Europe*. (2018). From <https://glassforeurope.com/glazing-saving-potential-2030-2050/>
- 49 The current ICOM definition of museum - “A museum is a non-profit, permanent institution in the service of society and its development, open to the public, which acquires, conserves, researches, communicates and exhibits the tangible and intangible heritage of humanity and its environment for the purposes of education, study and enjoyment” - is at the present (2019) under revision: see www.icom.museum.
- 50 British Glass Manufacturers. (2016). A clear future: UK Glass manufacturing sector decarbonisation roadmap to 2050.
- 51 N. F. Borelli, N. T. Lönnroth, M. Prassas, PM The and LA Zenteno, US Patent Application 20170075049 A1 (2017)
- 52 Granqvist, G. G. (2014). Electrochromics for smart windows: Oxide-based thinfilms and devices. *The Solid Films*, 564, 1-38.
- 53 Cuce, E., & Cuce, P. M. (2016). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 54, 1345.
- 54 Payen, C. & Fournier. (2018). U.S. Patent US 9,994,001.