

世界で進展するカーボンニュートラルとその難しさ

産業創造部 イノベーション推進グループ
グループ長／主席研究員
江種 浩文



1. 国内外でのカーボンニュートラル宣言

2020年10月、当時の菅義偉首相が所信表明演説で「2050年カーボンニュートラル（CN）」を宣言しました。CNとは、地球温暖化の主要な要因と考えられている二酸化炭素（CO₂）の排出と吸収をバランスさせる、つまりプラスマイナスゼロにすることです。

その時点で、CNは欧州をはじめ先進国の多くで実質的に共通目標になっていましたので、日本が消極的な姿勢を取り続けたことを批判されていましたが、ようやく世界と歩調を合わせることを公に発表した形です。その後、2021年11月のCOP26終了時点では、154カ国・1地域が年限を設定したCN実現を表明しています（図1）。

図1 年限を設定したCN実現の表明国・地域



（出所）経済産業省資源エネルギー庁『エネルギー白書 2022』

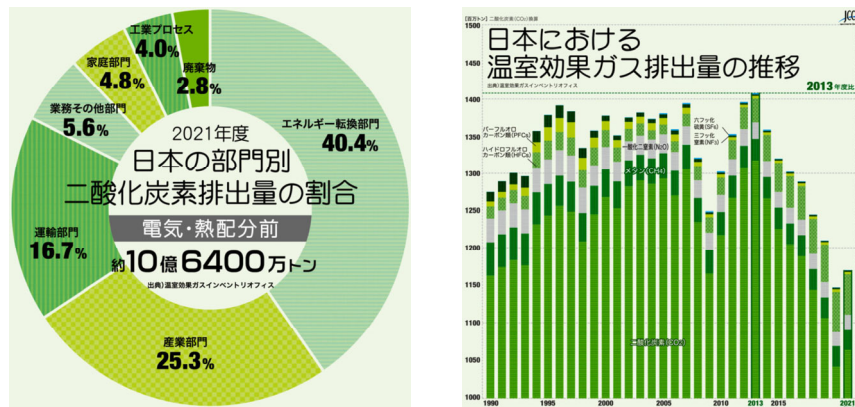
この中には、中国（2060年CN目標）やインド（2070年CN目標）などこれまで環境対策に熱心でなかった国も含まれており、世界がCNに向かって団結している印象を受けるかもしれません。そうした側面も否定しませんが、どちらかと言えば経済的モチベーションが強いと考えます。つまり、CNを宣言しなければ、国内への投資が引き上げられたり、国内で作った製品を輸出できない（海外で買ってもらえない）ことへの危機感が強く働いていると推測できます。

2. 日本と世界のCO₂排出の現状

日本のCO₂排出量は、年間10～11億tです。2020年に10億4,400万tまで減りました（ただし、この時には新型コロナウイルスの感染が拡大して経済が停滞しましたので実力値よりも少ないと考えます）が、2021年には増加に転じています（図2）。

なお、世界全体でのCO₂排出量は、2019年時点で約335億tと推定されており、日本は中国、アメリカ、インド、ロシアについて5番目に大きな排出国です。この時点では、中国（約100億t）がトップで、アメリカがその半分（約50億t）、さらにその半分がインド（約25億t）、そしてさらにその半分が日本（約12億t＝2019年の排出量）という構成でした。

図2 日本のCO₂排出量の現状・推移



(出所) 全国地球温暖化防止活動推進センター (JCCCA)

これを踏まえると、CO₂排出量の2トップである中国とアメリカが国際的な取り決めに加わることで、そして今後も排出増が見込まれる中国とインドで対策が取られることの重要性を認識できます。アメリカがバイデン政権になってパリ協定に復帰し、中国も（経済的モチベーションが強いとしても）世界のCN実現に協調していることは極めて大事なことです。

3. 地域経済とCN

国内外で進展するCNへの動きは、自治体や地域経済にとっても深く関係します。毎年のように起こる自然災害は地球温暖化の影響と指摘されていますし、広島県と両隣の岡山県、山口県にはCO₂排出量の多い自動車や鉄鋼、造船、機械、エレクトロニクス、化学といった製造業が集積し、地域経済の屋形骨になっていますので、脱炭素に対応するコストも大きくなります。実際に、これら3県は全国でもCN化の影響が大きいとの分析もあります（図3）。

図3 CN化による地域経済への影響

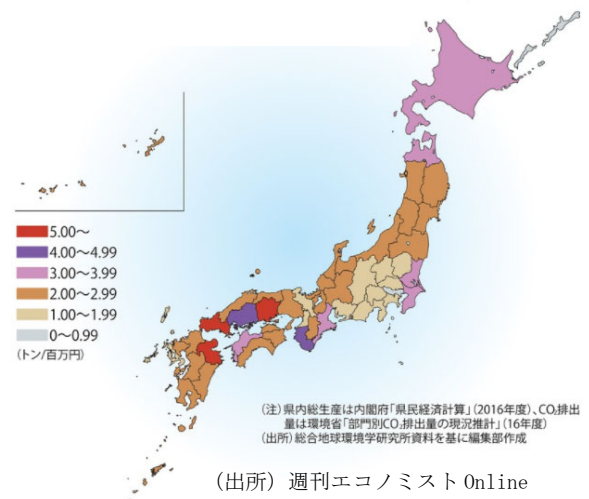


図4 日本のESG投資残高



(出所) 東京新聞 Web (2023年2月19日)

しかし、CNに向けて努力を継続しないと、事業に必要なヒト・モノ・カネが集まらない状況が生まれつつあります。例えば、金融面で環境や社会に配慮した経営を求める「ESG投資」は2021年に世界で35.3兆ドルに達し、日本でも2022年に500兆円を突破したと報道されています（図4）。

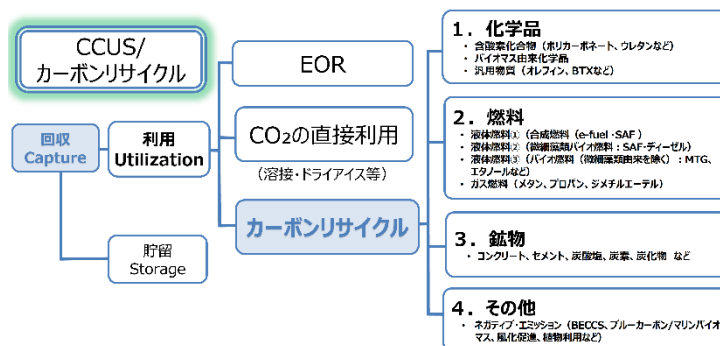
また、近年はESGやSDGs（国連で採択された持続可能な開発目標）に加えて、CNについても中学・高校レベルから教育が行われています。私も高校に招かれて講演する機会がありますが、意識の高い生徒は脱炭素をとっても身近な問題として捉えている、と感じます。こうした教育が進むと、CO₂を無責任に排出する企業や国は、将来の人材から見向きもされない時代が確実に来るように思えます。

4. CN実現手段としての「カーボンリサイクル」

改めて確認すると、CNはCO₂をプラスマイナスでゼロにするものですが、方法としては「CO₂の排出を抑える」とことと、「排出されたCO₂を回収して再利用（リサイクル）する」ことの2つがあります。省エネや再エネ、化石燃料の使用を減らすことは前者であり、後者ではカーボンリサイクル技術が期待されています。

経済産業省の定義によれば、排出されたCO₂を回収し、地下や海底深くに貯留するCCS（Carbon Capture & Storage）、回収したCO₂を油田に圧入して原油回収を増やすEOR（Enhanced Oil Recovery）、溶接・ドライアイス等で直接利用するのは別に、化学品や燃料、鉱物化で再利用する方法が「カーボンリサイクル」です（図5）。

図5 カーボンリサイクルの定義



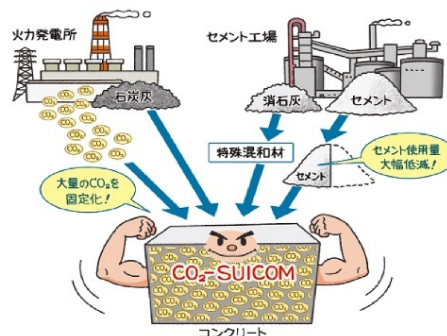
（出所）経済産業省「CRロードマップ」（令和3年7月改訂）

このうち、日本では溶接などでCO₂を直接使用する工業用途量は年間100万tです。先ほど、日本のCO₂排出量は年間10億t以上あると説明しましたので、全量を回収しても直接使用だけでは使いきれません。また、日本には油田やガス田が少ないため当面はCCSやEORが難しく、そうなるか残りの選択肢であるカーボンリサイクルへの期待が高まるのも当然です。

5. カーボンリサイクルに必要なもの

カーボンリサイクルでは、回収したCO₂を「化学品」「燃料」「鉱物」に再利用するものです。このうち「鉱物」は、CO₂を炭酸塩にする技術です。中国電力㈱やランデス㈱など中国地方の企業が開発に取り組んでいる「CO₂-SUICOM」もこの技術を応用したもので、火力発電所から排出されるCO₂を特殊な混和剤を用いてコンクリートに固定化させます（図6）。国内外で多くの企業がこの鉱物化に関連する研究開発と事業化を加速しています。

図6 CO₂-SUICOM

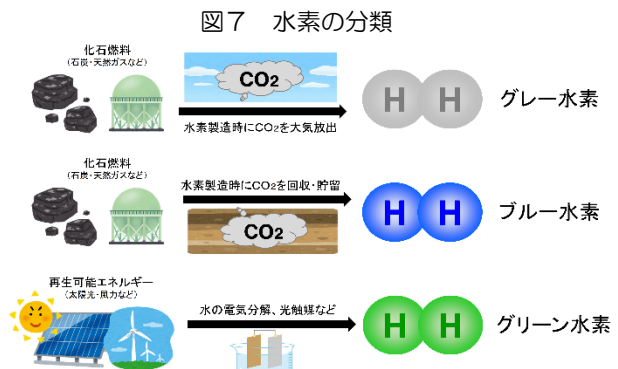


（出所）チャレンジゼロ Website

一方で、この「鉱物化」だけでは CO_2 を十分に再利用することができないことも事実で、化学品や燃料でのリサイクルに高い期待が集まっています。しかし、そこには大きな課題があります。化学品や燃料に CO_2 を転用するには、水素が必要になることです。

水素は、短期的には天然ガスや原油など化石燃料に含まれるものを調達する方法が安価で、実際に現在流通している水素のほとんどがこの化石燃料由来の「グレー水素」ですが水素を得るために CO_2 を排出しています。

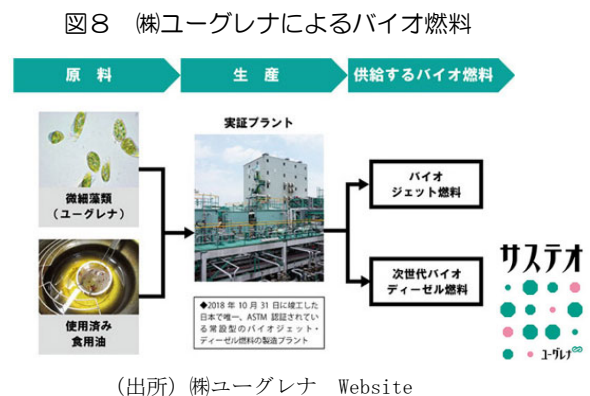
カーボンリサイクルを目指すのに CO_2 を排出しながら水素を調達するのでは本末転倒なので、化石燃料から水素を得るのであれば少なくとも CO_2 を回収して貯留した「ブルー水素」を調達すべきですが、できるだけ CO_2 を出さない「グリーン水素」を使用すべきです（図7）。



6. CNやカーボンリサイクルはなぜ難しいか

ここまで述べてきたとおり、CNはどうしても実現したい世界共通の目標ですし、それに必要なカーボンリサイクル技術やグリーン水素は、環境性に優れたものであることは理解できます。しかし、現状では普及していません。何故でしょうか。結論から言えば、「コスト」と「技術」に高いハードルがあるからです。これを事例で示します。

「CN燃料」として注目を集めている燃料の一つがバイオ燃料です。バイオ燃料は、燃焼時に CO_2 を排出しますが、生物の成長過程で CO_2 を吸収しているためCN燃料とみなされます。例えば、㈱ユーグレナでは、使用済みの食用油と微細藻類ユーグレナ（ミドリムシ）から抽出された油脂を抽出・精製して、自動車や航空機の燃料（製品名「サステオ」）を作っています（図8）。



自動車燃料としてこの「サステオ」を使うとすれば、154.5 円/ℓ（経済産業省資源エネルギー庁『給油所小売価格調査』でこの原稿を執筆している 2023 年末時点での最新値）との価格比較になります。「サステオ」が 154.5 円/ℓよりも安く手に入るなら、多くの人々がそれを買い求めるでしょうが、そこまで製造コストを抑えることは現状難しく、私が収集した情報では数百円/ℓということです。つまり、現状の自動車燃料の 4～5 倍ほどします。分かりやすく言えば、燃料タンクを満タンにするのに、いつもなら 5,000 円ほどのところが、「サステオ」にすると 20,000 円ほど掛かるということです。

もちろん、CN燃料としての価値がありますので、価格だけで比較するわけではありませんが、製造コストを下げて価格も安くしていかなければ、多くの人に受け入れてもらえないことも事実です。

次に、技術面での難しさを先ほどご紹介した「CO₂-SUICOM」で説明します。この製品は、多くのCO₂を排出しながら製造するセメントの使用量を減らし、さらに発電所から排出されるCO₂をコンクリートに固定化させる環境性に優れたものです。しかし、鉄筋コンクリートに使用する場合に、一般的なコンクリートなら内部がアルカリ性となって鉄筋は錆びにくいのですが、「CO₂-SUICOM」ではCO₂を吸収して内部が中性に近くなるため、鉄筋が錆びてしまい、強度が下がるリスクがあります。

こうなると、高層ビルの主要構造材として用いるには信頼性に課題が残ることから、現状では歩車道の境界ブロックや太陽光発電の基礎ブロックなどでの採用が進んでいます（図9）。なお、現状では一般的なコンクリートと比べて価格も高くなっています。

図9 「CO₂-SUICOM」の採用事例



（出所）中国電力㈱『エネルギー総研レビュー』No. 41

これらの事例から分かることは、CO₂を排出しない燃料やものづくりは、CO₂を排出する燃料やものづくりと比べて、「コストが高く、技術的にも難しい」という現実的な課題があることが分かります。グリーン水素も同様に、現状数百円/Nm³ともいわれる製造コストを下げていかなければ、カーボンリサイクルで利用する原料として、あるいはCN燃料として普及させることはできません（『カーボンリサイクル技術ロードマップ（令和3年7月改訂）』では、2050年にプラント引き渡しコストで20円/Nm³を目標値として設定しています）。

7. CNへのもう一つのハードル

CNに取り組むには、「コスト」と「技術」に加えて、もう一つの高いハードルがあります。それは「雇用」です。これも、事例を基に説明します。

2021年5月に、トヨタ自動車㈱が水素エンジン車で24時間耐久レースに出場した際に、豊田社長（当時）が「（自動車）全部バッテリー式電気自動車になったら、日本では100万人の雇用が失われる」と発言しました。この真意は何でしょうか。

まず、エンジン自動車からバッテリー式電気自動車に切り替わると、部品点数が3万点から1万点に減ると指摘されています。また、電気自動車の生産のうち、国内製造で品質・利益を確保できる主要コンポーネントは、電池、モーター、インバーターなど少数に限られており、その他の構造部品の多くは海外でも生産できると考えます。こうなると、「日本で100万人の雇用が失われる」ことも大袈裟な表現とは言えません。

実は、これを10年以上前に実感した出来事があります。広島市（公益財団法人広島市

産業振興センター）が実施する次世代自動車に関する研修を、私が企画・コーディネートした経験があります。受講者は約 30 名で、ほとんどが自動車部品サプライヤーで働く 30 歳代の若手技術者でした。その研修の中に、「コンバートEV」の実習プログラムを組み入れ、実際に中古のガソリン自動車を購入して、バッテリー式電気自動車に改造しました。

改造プロセスでは、エンジン廻りや排気系、燃料系の部品を取り外して、新たにモーターと電池、インバーターなどを取り付けます。その際に、取り外した部品を、大きなものから小さなものまですべて床に並べてみたところ、受講していた若手技術者の多くが衝撃を受けていました。「俺、この部品作ってるんだけど…」「私の会社ではこの部品で収益を上げているのに…」といった様子です。つまり、エンジン自動車が電気自動車に切り替わることで、自分たちの仕事が失われてしまう可能性があることを端的に実感したのです（図10）。

図10 広島市で実施したコンバートEVに関する実習



（資料）筆者撮影

（写真左上・左下）フロントエンドからエンジンを取り外し、モーターを取り付ける様子

（写真右上）取り外した部品（＝電気自動車では不要になる部品）を並べた

（写真右下）取り外したエンジンと、新たに動力となるモーター

本稿の3節で述べたCNが地域経済に及ぼす影響としても分かりやすい事例と思います。CNでグリーンな自動車が普及するのは良いことですが、「雇用」「産業」を維持しながらCNを進めなければ当面の生活が成り立ちません。

8. CN実現に向けた具体的取組（その1）

それでは、CNのこうした「難しさ」を理解したうえで、個々の立場でどのような取組を進めていけばよいのでしょうか。私が業務として実施している企業支援の事例を可能な範囲でご紹介します。

まず、これまで脱炭素化を本格的に検討したことのない企業には、「省エネ診断」と、そ

の一環としてCO₂排出の「見える化」をお勧めしています。特に、中小企業では何から始めればよいか良いかと戸惑っていることが多いのですが、それは「脱炭素化」は効果が見えづらく、まだ先延ばしできるものと受け取っていることに起因すると感じています。

そこで、毎日のエネルギー消費を節減することで、目の前のコストを圧縮して、同時に電気や燃料の使用に伴うCO₂の削減効果を「数値で示す」ことから始めるのです。この1～2年で、電気料金や燃料価格が大幅に上がっていますので、省エネによる経費削減効果は予想以上に大きくなると思います。脱炭素化は、この省エネを実行に移すことで、「おまけ」として付いてきます。

幸いなことに、最近では多くの自治体や政府が、この省エネや「見える化」に手厚い補助金を準備しています。例えば、①自社で「見える化」を実施できない場合に、エネルギー事業者やコンサルティング会社のような専門家に省エネ診断や脱炭素計画策定を依頼する、②省エネ計画に基づいて設備投資や更新を行う、③再エネを導入したり、証書などのクレジット・オフセット制度を利用したりして脱炭素化を進める、といった対策で活用できる補助金が数多くあります（図11）。

私の業務でも、企業がこうした補助金を活用して省エネ・脱炭素計画を策定して実行する支援をしたり、反対に、自治体の立場で「どのような補助金であれば企業が使いやすく効果を上げやすいか」といった検討に加わったりしています。

図11 自治体による省エネ・脱炭素支援補助金の一例



今こそ脱炭素経営に取り組んでみませんか？

計画策定 最大 200万円 / 設備導入 最大 500万円

呉市内 中小企業・小規模事業者

脱炭素経営に資する実施計画策定や設備導入に係る費用及びそれに付随する費用の2/3を補助します。
 （計画策定については、専門家による省エネルギー診断等の脱炭素化に係る現状把握費用、専門家によるコンサルティング費用等含む。）

申請受付	申請期間：令和5年7月24日から令和5年12月31日までに以下の書類を作成して申請
対 象	呉市内に本社や拠点を置き、将来にわたり市内で事業継続する意思がある中小企業者又は小規模事業者のうち、令和5年度中に設備導入計画を策定し、今後概ね3年以内に計画に基づき脱炭素経営に資する設備を導入する事業者、又は設備導入計画に基づき脱炭素経営に資する設備を令和5年度中に導入する事業者
提出資料	①呉市脱炭素化設備等導入補助金交付申請書 ②計画書／③会社案内、パンフレット等 ④法人の全部事項証明書／⑤市税の滞納のない証明書 ⑥暴力団排除に関する誓約書

呉市脱炭素化設備等導入補助金

（出所）呉市商工振興課（現在、募集はありません）

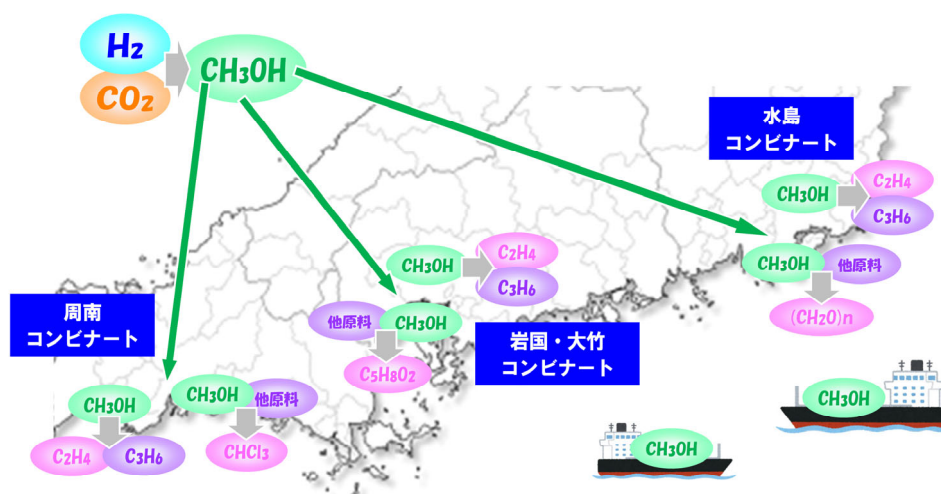
9. CN実現に向けた具体的取組（その2）

前項が企業個別の取組であるのに対して、複数企業でチームを構成し、特定の地域（エリア）、自治体、さらには複数の自治体にまたがるプロジェクトを構想して、実現に向けて関係者と調整を重ねる取組もあります。CNは大手企業であっても個別の取組では限界がありますので、多くの企業や自治体がそれぞれ持つ技術やリソースを出し合って、大きな動きを作っていく視点も重要です。具体的内容として、4節で説明したカーボンリサイクルに関するプロジェクト例をご紹介します。

瀬戸内エリアでは、火力発電所や製鉄高炉、化学コンビナートなど多くのCO₂排出源があり、一部では既にCO₂を回収して有効利用する構想が発表されています。一方で、経済産業省や国土交通省、そして自治体を中心となり、全国の港湾で水素・アンモニアの供給拠点やCNP（カーボンニュートラルポート）を整備する計画も検討されています。当面は日本国内でのグリーン水素製造が高コストになることが予想されますので、海外産の水素（多くはブルー水素）を輸入して国内に普及させる目論見です。もちろん、再エネから水素を製造する試みも各地で数多く発表されています。

これらのCO₂と水素を用いれば、カーボンリサイクルで化学品や燃料を合成することが可能になります。私の業務でも、ある排出源から分離回収するCO₂と、再エネから製造する水素を原料として、メタノールを合成する検討を進めています。瀬戸内エリアには、この「グリーンメタノール」の用途が豊富に見込まれており、例えば化学品原料としてのメタノールだけでも年間20～30万トンが直接使用され、ナフサクラッキングで生産しているオレフィン系炭化水素をグリーンメタノールからの製造に切り替えると製造プロセスのCO₂排出削減につながります。さらに、瀬戸内海を往来する内航船の燃料（主として重油）を既存の（化石燃料由来の）メタノールに切り替えるとCO₂排出を十数%削減できるのですが、グリーンメタノールなら100%削減となります（図12）。

図12 グリーンメタノールによる化学・海運産業の脱炭素化（イメージ）



10. まとめ

本稿では、国内外で進むCNとその現状、必要な技術を紹介したのちに、CNの実現がなぜ難しいかについて、実現へのハードル「コスト」「技術」「雇用（＝生活との両立）」を、それぞれ事例で説明しました。これらを克服してCNを実現することは短期的には不可能ですが、少しずつでもステップを刻んで前進することが重要です。

「コスト」「技術」については、研究開発への支援でブレークスルーを促進して、CO₂を排出しなくても、許容可能な価格で高品質な燃料やものづくりを普及させることです。また、グリーン技術・製品への環境価値の設定あるいは排出へのペナルティなど、政策面での優遇制度も不可欠です。そして、消費者の行動で一定レベルの影響を受け入れつつ、意識を自発的に変えていくことにより、全体が世の中を変えていくための意識と行動にシフトする仕掛けが重要になります。最近頻繁に言われるようになったこの「行動変容」が、CNの実現に向けてもっとも効果があると考えています。

最後に、「カーボンニュートラル」は地球温暖化ガスの排出と吸収をプラスマイナスゼロにすることですが、これまで排出された温暖化ガスを減らす「カーボンネガティブ」でなければ、将来世代に負担を強いることになります。この高い目標に向かって、まずは「カーボンニュートラル」を実現すべく、現役世代の一層の努力が求められています。

以 上