

海水を利用した Mg の加水分解による高効率水素製造技術の開発

松崎 邦男, 村上 敬

産業技術総合研究所先進製造プロセス研究部門

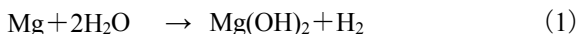
概要 機械加工等で生じる微細でリサイクル困難な Mg 切粉と海水との加水分解反応とボールミルによる粉砕化のプロセスを同時に行うことで、効率的に水素を製造するプロセスを開発し、その製造条件を調べた。

Mg 切粉の粒子径は微細なほど、得られる水素生成速度、生成量は増加し、200 μm 以下の切粉を用いることで、120 min で 800 ml/g の水素が得られた。一方、ボールミルを用いずに加水分解のみの反応では 120 min で得られる水素は 160 ml/g であり、本研究で開発したプロセスにより 5 倍の水素を効率的に製造することができた。また、ボールミルの回転数および粉砕用ボール重量が大きいほど、粉砕の効果が有効に作用して微細化と新生面が形成し、水素の製造量は増加することが分かった。Mg の重量と海水の体積比は 5:250 で最も多くの水素を得ることができた。それに対して海水の塩分濃度を増加させても、水素の生成量に大きな違いは見られなかった。一般的な市販合金である AZ91 合金に対しても本プロセスを適用し、バンドソウで生じた分級しない AZ91 合金切粉において 300 min で 800 ml/g の水素が得られ、加水分解のみで得られる水素量に対して 10 倍の体積が得られており、合金に対しても有効であることが分かった。得られた水素を燃料電池に用いることで発電が可能であった。加水分解反応によりほとんど Mg は Mg(OH)₂ に変化しており、熱分析、小ガス炎着火試験により安全性を評価し、加熱により燃焼が生ずることはなかった。また、着火試験後でも延焼することなく加水分解反応により、安全な物質に変化していることを明らかにした。

以上のことから、本研究で開発した加水分解反応とボールミルプロセスを同時に行う手法は、Mg および Mg 合金の切粉より効率よく水素を製造するとともに、危険物である Mg および Mg 合金切粉を安全な物質に処理することに有効であることが分かった。

1. 研究目的

環境に配慮した社会が求められる中、その対策として輸送機器の軽量化や水素エネルギーの利用に関する研究が盛んに行われている。マグネシウム(Mg)合金は実用金属材料中で最も軽い材料であり自動車の軽量化に非常に有効である。欧州では自動車の種々の部品に適用が行われおり、国内においても徐々に利用されているが、Mg 合金の応用を阻む理由のひとつとして、その耐食性の不十分性があげられる。Mg と水は次式の加水分解反応が生じ、水素を発生し、腐食が生じる。



また、塩素イオンが存在すると腐食が促進するため、融

雪剤を用いるような寒冷地での使用は制限されている。しかしながら、この反応を効率的に生じさせることができれば、クリーンな水素製造法として期待できる。Mg の加水分解による方法では、水素と Mg(OH)₂ のみが生成するため、環境にも非常に優しい製造技術であるが、Mg と水の反応では、Mg の表面に生成した Mg(OH)₂ の被膜により反応は進行しない。ところが、水溶液に塩素イオンが存在すると、Mg(OH)₂ は溶解し、反応が進行する。加水分解に用いる水溶液として海水を用いれば、効率的な製造コストの低減にも寄与する。反応を促進させる方法の一つとして微細な Mg 切粉を用いることが考えられるが、Mg は活性な金属であり、微細になると粉塵爆発などの危険が生じる。一方で、近年、Mg の製品が徐々に増え、それにともない切

削加工等で生じる切粉の処理が問題となっている。例えば、Mg 合金でダイキャスト法により 100 kg の原料から約 50 kg 部品を製造する場合には、2.5 kg 切粉が機械加工によって生じる¹⁾。そこで、切削で生じた Mg 切粉と海水との反応を利用すれば、水素の製造と Mg 廃棄物の安全な処理が可能となる。

本研究では、Mg 切粉と海水との加水分解を利用して高効率で水素を製造するための技術を開発する。高効率化のために海水中で Mg チップを粉碎して微細化させ、反応を生じさせるための装置を作成し、水素製造条件を調べることを目的とする。

2. 研究方法

Mg と海水との加水分解により効率的に水素を製造するために、Fig. 1 に示すようにボールミルを用いて Mg 切粉と海水をポットに入れて、海水中で Mg 切粉を微細化して水素の生成を行い、その生成条件を調べた。

2.1 製造装置

ボールミルは回転ミルを用いて、最高回転数 130 rpm まで回転数を変えて行った。ポットは SUS304 製であり、その内容積は 1,000 cm³ であった。回転するポットから発生した水素を回収するために、ポットの蓋の中心のロータリージョイントを取り付けた。粉碎用のボールは超鋼製と SUS304 製の球状のものを用い、ボールの直径は 10 mm であった。

2.2 加水分解用溶液(海水)

海水は採取後、ろ過を行い、不純物を取り除いて用いた。1 回に使用量は 250 ml とした。海水の塩分濃度は塩分計により調べ、その濃度は 3.2 wt% であった。また、塩分濃度の影響を調べるために、海水に食塩を添加して、6 wt% および 10 wt% の塩分濃度の海水を用いて水素の生成を行った。

2.3 材料

Mg の切粉は Mg ブロックのバンドソーによる切断時に生じたものを用いた。切粉はすべて 2 mm 以下のものであり、その外観を Fig. 2 に示した。切粉は扁平状の細長いものがほとんどであった。粒度による水素の生成条件を調べるために、200 μm 以下、200-500 μm、500-1,000 μm、1,000 μm 以上の切粉に篩を用いて分級を行った。Fig. 3 は切粉の粒度分布を示しており、200-500 μm の切粉がもっとも多く存在していた。また、合金による水素生成挙動

を調べるために、一般的な铸造用市販合金 AZ91 (Mg-9 wt% Al-1 wt% Zn) とのバンドソーにより発生した切粉と生体吸収 Mg 合金として期待されている Mg-0.8 wt% Ca 合金のフライス加工で生じた切粉について水素の製造を行った。

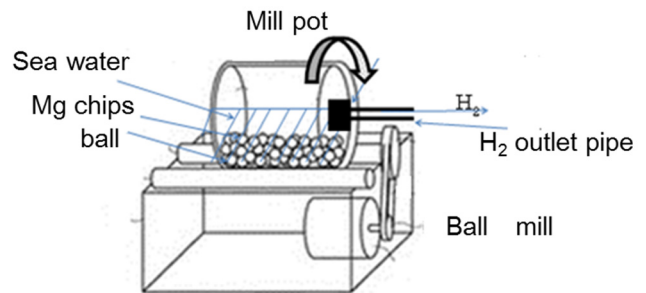


Fig.1. Schematic of the designed H₂ production system

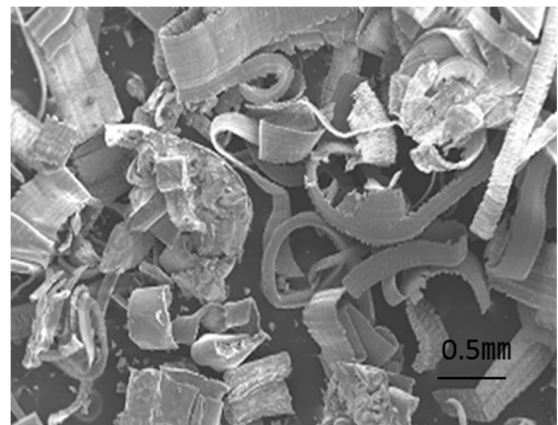


Fig.2. SEM micrograph of Mg chips generated by machine saw

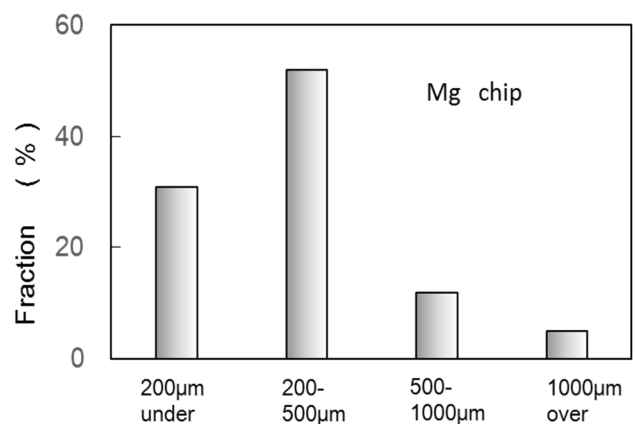


Fig.3. Particle size distribution of Mg chips generated by machine saw

2. 4 水素量の測定

発生した水素は水上置換により捕集して、その体積を測定した。捕集温度は 20℃とし、気圧を測定して、20℃、1,000 hPa での体積に換算して水素の生成量を求め、比較のために Mg の重量 1 g あたり生成量として、その時間変化を調べた。また、得られた水素については小型燃料電池を用いて発電を行った。

2. 5 組織観察

加水分解の反応の途中と終了時に、Mg 切削粉を抽出し、X 線回折、SEM 観察により組織観察および生成相の同定を行った。また、反応生成物に関して蛍光 X 線分析により構成元素を調べた。さらに、Tg-DTA による熱分析、小ガス炎着火試験により危険性の評価を行った。

3. 研究結果

3. 1 水素生成速度におよぼす粒度の影響

Fig. 4 は Mg 切粉の粒度を変えて、ボールミルの回転数 130 rpm で海水との加水分解反応で生じた水素の時間変化を示している。比較のために、同粒度の Mg 切粉を用いて、ボールミルを用いずに単に海水に浸漬した反応により生じ水素生成量の時間依存性を Fig. 5 に示した。ボールミルを用いた場合、200 μm 以下の切粉は反応の初期では水素の生成量は時間とともに直線的に増加し、80 min 以降は時間ともになだらか増加しているのが見られ、120 min で 800 ml/g に達している。(1) 式の加水分解反応で

水素が生成した場合、1 g の Mg からは 20℃、1,000 hPa では 1,000 ml である。水素変換率を次式で定義する。

$$\text{水素変換率(\%)} = \frac{\text{反応により生じた水素量}}{\text{完全に反応が生じた場合に得られる水素量}} \quad (2)$$

800 ml は水素変換率 80%が得られていると言える。粒度が増加した場合で、水素の生成挙動は同様であるが、粒度が大きいほど初期の生成速度は減少し、120 min で得られる水素の量も低下し、1,000 μm 以上では 500 ml/g に減少した。これは粒径が小さいほど表面積が大きいため、反応サイトが多く、生成速度が大きいことによるものである。また、反応の進行するにともない反応サイトが減少するため、時間とともに生成速度が減少すると思われる。一方、Fig. 5 に見られるように、Mg 切粉と海水との加水分解反応では、同様に粒度が小さいほど水素の生成速度および得られる量は増加している。反応開始時に生成速度は大きいのが、生成速度は直後に減少している。これは反応がはじまると、Mg の表面が水酸化マグネシウムで覆われてしまうため、その後の反応が低下すると考えられる。120 min で得られる水素量は、200 μm 以下で 180 ml、1,000 μm では 75 ml であり、一方、ボールミルを用いた場合には 200 μm 以下および 1,000 μm 以上でそれぞれ 800 ml および 500 ml であることから、5 倍および 7 倍の生成量の向上があることが分かった。

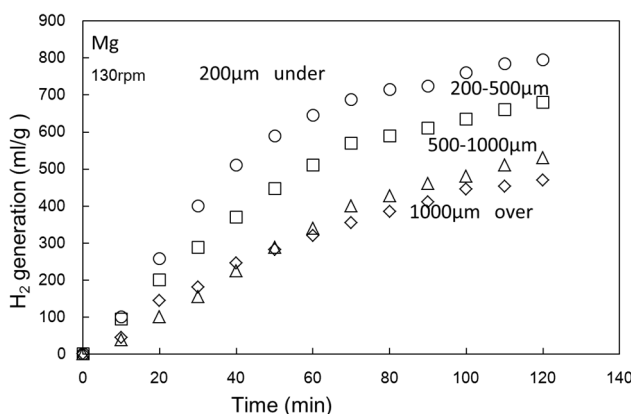


Fig. 4. Hydrogen production profiles for the reaction of seawater and Mg chips with various particle size in the ball mill

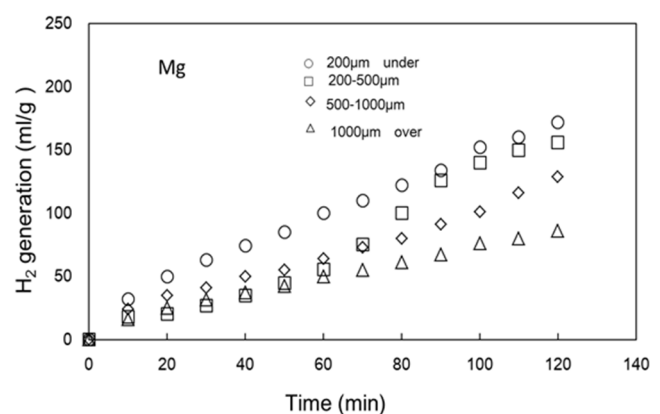


Fig. 5. Hydrogen production profiles for the reaction of seawater and Mg chips various particle sizes

Fig. 6は反応する海水の量を250 ml一定として、Mgの量を変えて反応させた場合の水素生成量の時間変化を調べた結果である。反応初期での速度に若干の差異はみられるが、120 minで得られる水素量は1-5 gで大きな変化は見られない。

一方、10 g以上ではMgの増加に伴い、生成速度、生成量ともに低下する傾向が見られた。水素製造あるいはMg切子の処理の効率的な観点からは、処理できるMgが多いほど望ましく、250 mlの海水に対して5 gのMgがもっとも効率的であることが分かった。

Fig. 7は5 gのMg切粉を用いて、ボールミルの回転数を変えて水素生成量を測定した結果である。回転数が大きいほど水素の生成量は増加しているのが見られる。これは、回転数が大きいほど切子の粉砕が促進されることや攪拌による効果によるものと考えられる。さらに高速度で

の回転が可能であればより効率的に水素の製造が可能となるものと思われる。

Fig. 8はボールミルに用いるボールの材質を変えて水素を製造した結果である。超硬合金(タングステンカーバイド+コバルト合金)ボールを用いた場合、SUS304合金より水素の製造量は大きいことがわかる。超鋼ボールおよびSUS304合金ボールの重さはそれぞれ、7.7 gおよび4.1 gであり、重量が大きいほど粉砕能力が大きいため水素の生成量が増加したえられる。Fig. 9は水素を生成におよぼす海水の塩分濃度による効果を調べた結果である。海水塩分濃度は3.2%であり、それに食塩を加えて6%及び10%の塩分濃度の溶液を作製して加水分解を行ったが、濃度による違いはほとんど見られなかった。このことは海水の塩分濃度は反応により生じたMg(OH)₂の被膜をやぶるのに十分な量であると言える。

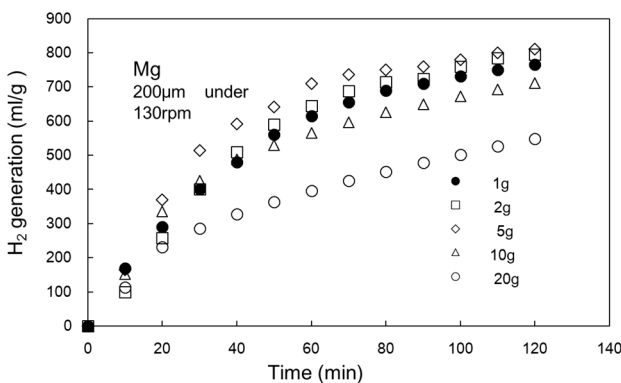


Fig. 6. Hydrogen production profiles for the reaction of sea water and Mg chips with various amounts in the ball mill

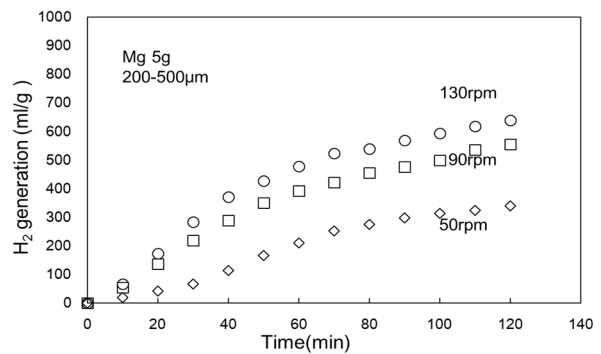


Fig. 7. Hydrogen production profiles for the reaction of sea water and Mg chips in the ball mill with various rotation speed

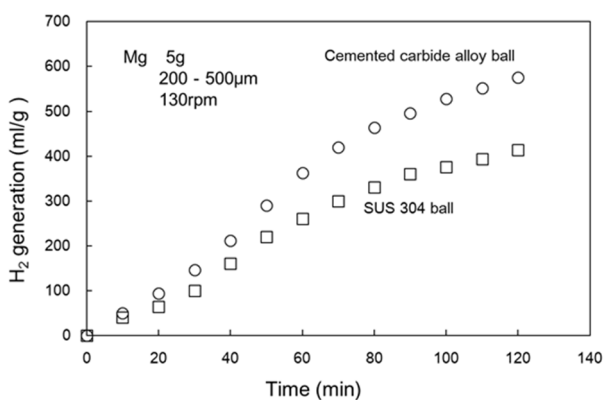


Fig. 8. Hydrogen production profiles for the reaction of sea water and Mg chips in the ball mill WC-Co balls and SUS304 balls

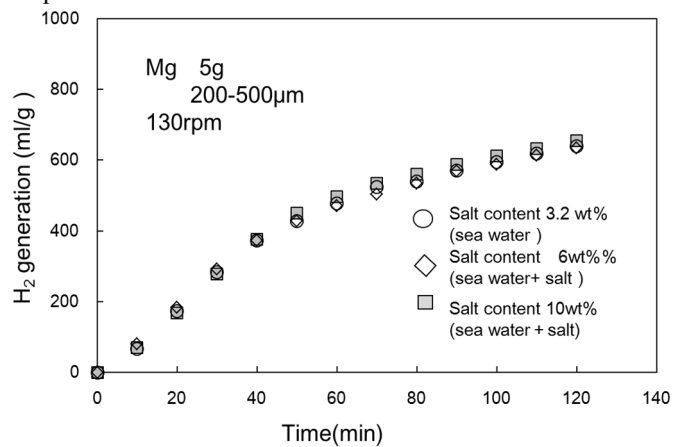


Fig. 9. Hydrogen production profiles for the reaction of sea water with various salt contents and Mg chips in the ball mill

以上のことから、Mgと海水との加水分解により水素を製造する場合には、ボールミルによる処理を加えことで、水素の製造速度を向上させることができ、回転数が早いほど、また、用いるボールは重いほど促進することが分かった。また、Mgと海水の体積比は5:250程度がもっとも生成速度が速いことが分かった。海水の塩分濃度も、自然に含まれている濃度で十分であった。Mgに関しては、微細なほど水素の生成速度は速いが、実際に機械加工で生じる切粉は種々の大きさのものが含まれていることから、粒径の大きなものを効率的に処理する手法を検討する必要があると考えられる。

次に得られた水素に関しては、燃料電池による発電を行った。用いた小型燃料電池は7 ml/minの水素で0.8 Wの発電が可能であり、Fig. 10に示すように燃料電池にはLEDライトを結線した。捕集した水素は200 ccのシリンジに充填して、燃料電池に供給した。Fig. 10に見られるように本研究で作成した水素を用いることにより燃料電池の

発電が可能で、LEDを点灯することができた。発生した気体はガスクロ等での成分の分析を行うべきであるが、燃料電池での発電からも発生した気体は水素であることが確認できる。連続的に発電するためには、一定の速度で水素を製造する必要があり、現方法では困難であり、製造条件の検討あるいは、蓄電などを利用する必要がある。また、大量にMg切粉を処理した場合には大量の水素が発生するため、危険性もあることからその有効な利用法も検討すべき課題である。

これまでは純Mgの切粉と海水との加水分解反応による水素の製造について述べたが、実際に使用されている材料は合金であり、発生する切粉も合金である、そこで、もっとも用いられている合金であるAZ91合金とCaを添加Mg Ca 0.8合金の切粉についても水素の製造を行った。AZ91はバンドソーで、Mg Ca 0.8はフライス盤での加工で生じたものであり、いずれも分級することなく用いた。Fig. 11とFig. 12はそれぞれ、AZ91合金およびMg Ca 0.8合

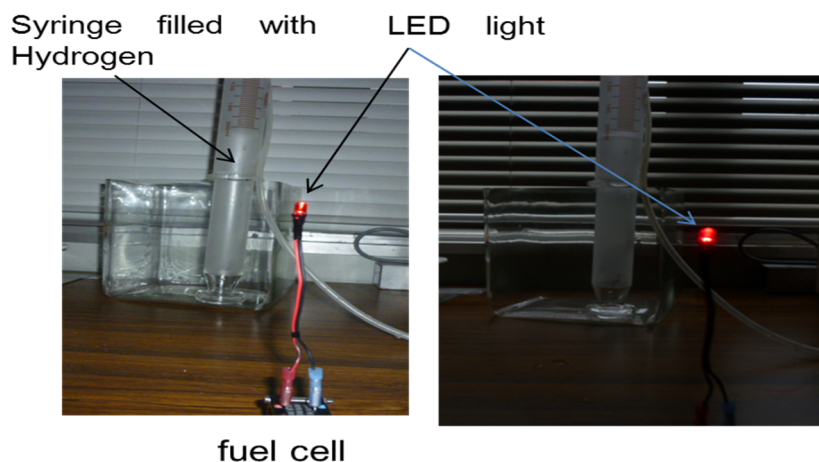


Fig. 10. Electricity generation by fuel cell using Hydrogen obtained by Hydrolysis reaction of Mg chips and sea water in the ball mill

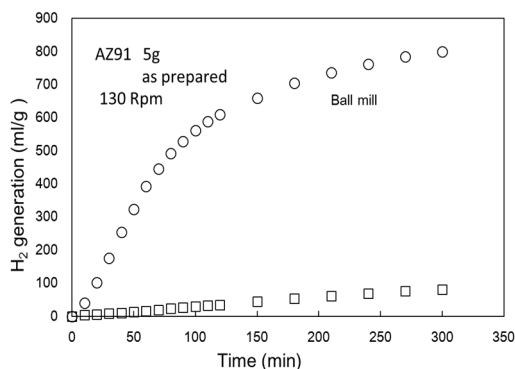


Fig. 11. Hydrogen production profiles for the reaction of sea water and AZ91 chips in the ball mill

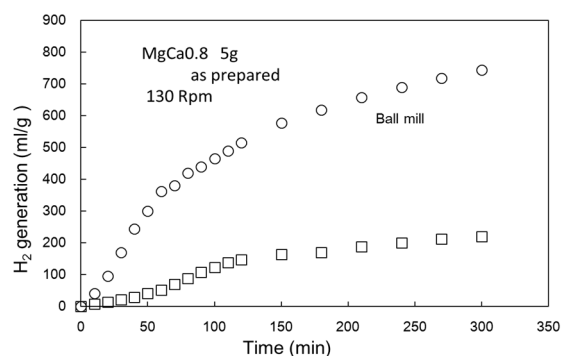


Fig. 12. Hydrogen production profiles for the reaction of sea water and Mg Ca 0.8 alloy chips in the ball mill

金切粉の水素生成の時間依存性を調べた結果である。比較のために加水分解反応のみで生じた水素量の時間依存性も示した。AZ91 の場合には、反応開始から 60 min までは水素は時間とともに比例して生成しており、その後徐々に生成速度は減少して、120 min での生成量は 600 ml/g であり、300 min では 800 ml/g に達した。水素変換率はそれぞれ、60%と 80%に達していることがわかる。一方、加水分解反応のみでは、120 min および 300 min での生成量は 34 ml/g および 80 ml/g であり、水素変換率はそれぞれ、3.4 および 8%である。従ったボールミルを用いることにより水素の生成量は 10 倍以上向上することが分かった。Mg Ca 0.8 合金においても、水素の生成挙動は同様であり、120 min では 516 ml/g であり、300 min では 744 ml/g であった。また、加水分解反応のみでの反応に比べて生成量は改善しており、Mg Ca 0.8 合金で 3.5 倍の量が得られた。

以上のことから、純 Mg のみならず合金を用いても本手法により水素の製造が可能であることが分かった。特に AZ91 合金は Mg 合金のなかでも最も流通している材料であり、その加工で生じる切粉も多いことから、それを用いた水素の製造とそれに伴う切粉の処理方法として期待でできる。

3. 2 反応過程と反応生成物

Mg 切粉と海水との加水分解反応による水素生成過程を調べるために、反応により生じた生成物の組織観察を行った。Fig. 13 は 200 μm 以下の Mg 粉末を用いて、反応前後の得られた生成物の X 線回折図形である。試料はろ過して濾紙に残存したものを加熱して水分を蒸発させて調べた。反応前では、Mg は hcp 構造をもった Mg から構成されていることがわかる。30 min 反応した試料では Mg のピークとともに Mg(OH)₂ のピークが見られさらに、120 min では Mg のピークは減少して、Mg(OH)₂ のピークが増大するとともに、NaCl のピークが見られており、ほとんどの Mg は水酸化マグネシウムに変化していることがわかる。Fig. 4 から 120 min での水素変換率は 80%であり、20%の Mg が残存しているが、Mg の周囲に Mg(OH)₂ が存在するため、X 線回折図形では Mg のピークが非常に小さくなっていると思われる。

Fig. 14 は各時間反応させた Mg 切粉の SEM 組織を示している。反応前の Mg の切粉の表面は非常になめらかな

面と凹凸の多い面が見られる。10 min 反応後には、表面に反応生成物が生じおり、粗い組織となっている。さらに反応が進んで 30 min に達すると表面全体が反応生成物で覆われて、その体積も増えているのが見られるが、さらに反応が進んで 60 min では切粉の粒径が減少しているのが見られる。これは、ボールミルによる粉砕されとこによると思われる。

Fig. 15 は用いた 200 μm 以下の Mg 切粉をボールミル中で海水との加水分解反応を 120 min 行った試料の蛍光 X 線分析結果である。Mg 切粉には Mg の他に Fe も検出されており、工具あるいは回収時に混入したものと思われる。一方反応させた試料には Mg の他に Fe、Cr、Co、W のピークが見られる。Co および W は粉砕用のボールである WC-Co から混入であり、また、Fe、Cr はステンレスポットからのものと思われる。そのほか、Ca や S も見られ、海水に含まれていたものと思われる。従って、本研究では Mg の加水分解反応では純粋な Mg(OH)₂のみならず、ポットやボールからの構成元素の混入が生じるため、再利用するためには何らかの検討が必要である。

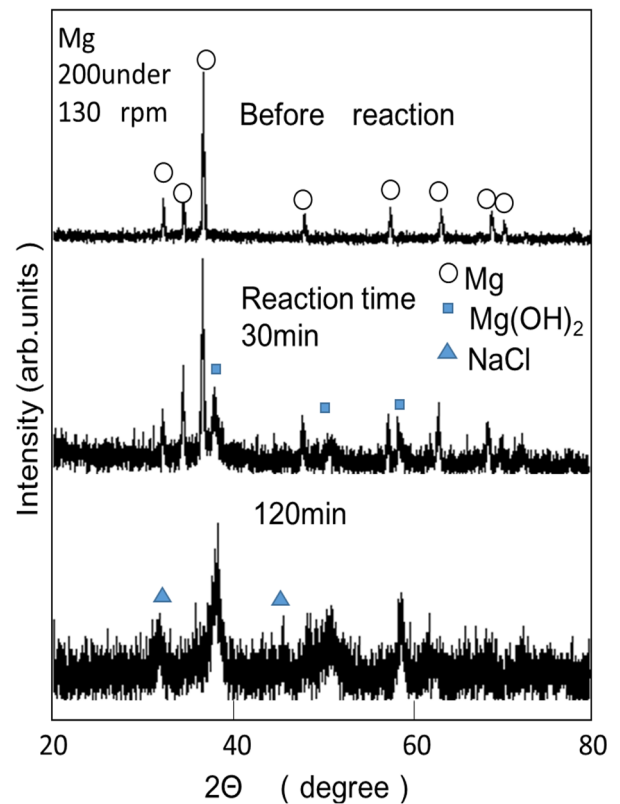


Fig. 13. X ray diffraction patterns of Mg chips reacted with sea water in the ball mill for various times

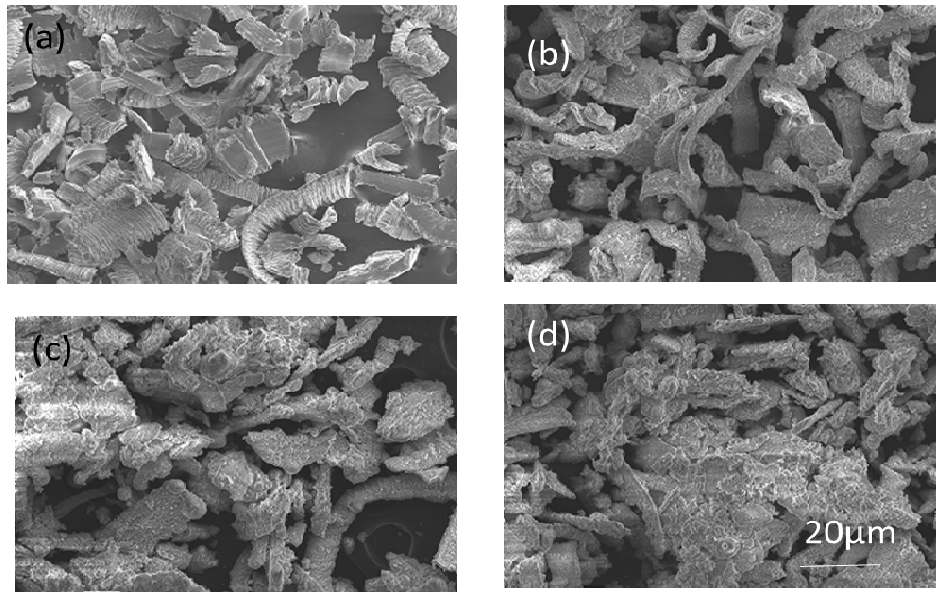


Fig. 14. SEM micrograph of Mg chips reacted with sea water in the ball mill for various times

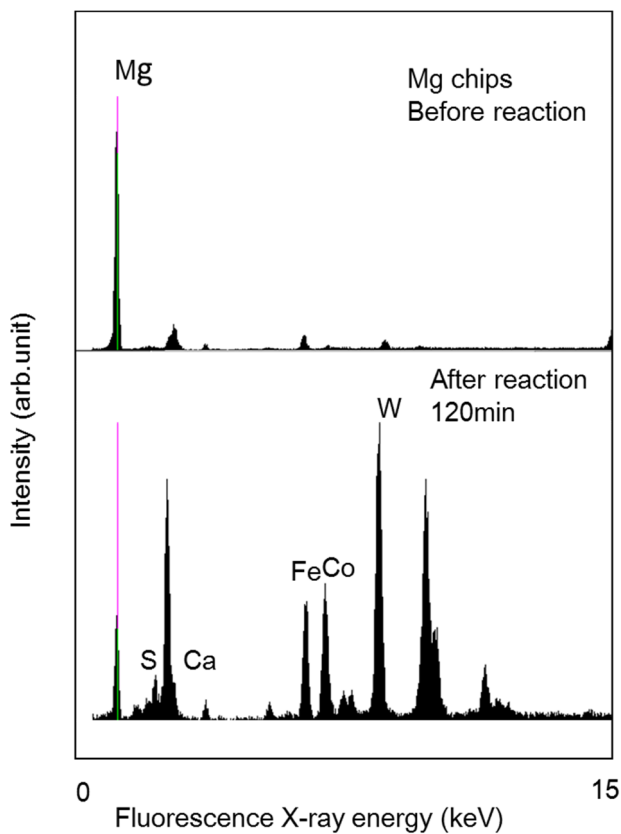


Fig. 15. Fluorescence X ray analysis of Mg chips reacted with sea water in the ball mill before and after 120 min

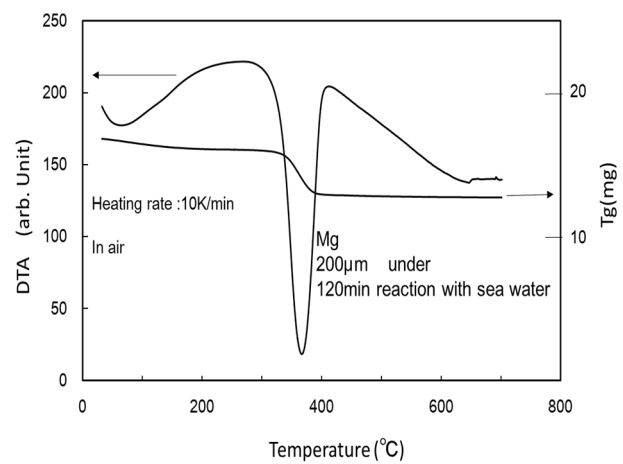


Fig. 16. Tg-DTA curves of the Mg chips reacted with sea water in the ball mill for 120 min

120 min 反応させた試料について大気中で TG-DTA により熱分析を行った結果を、Fig. 16 に示した。TG 曲線からは 350°C 付近に大きな重量の減少が見られる。これは水酸化マグネシウムが分解して酸化マグネシウムに変化したことによるものである。さらに温度が上昇しても TG 曲線はほぼ一定の値を示した。DTA 曲線には 350°C 付近に大きな吸熱ピークが見られ、さらに 660°C 付近にわずかに Mg の溶解に伴う吸熱反応が見られる。Mg を大気中で DTA 曲線を測定した場合には、熔融開始とともに燃焼が生じて非常に大きな発熱反応が起こり測定が困難であるが、加

水分解により生じた生成物は大気中加熱しても燃焼等は見られないことがわかった。さらに、反応生成物の危険性を評価するために小ガス炎着火試験を行った結果を示す。

Fig. 17(a) は水素変換率 80%まで反応させた Mg 切粉をガスバーナーで 10 s 間着火した状態を示している。バーナーの炎に接している部分は赤熱しているのが見られる。

Fig. 17(b) はバーナーを消した状態であり、延焼は生じていない。消防法では 2 mm の篩を通過する粉末は危険物に相当するが、加水分解反応により水素変換率 80%に達した Mg 切粉は小ガス炎着火試験による延焼が見られず危険物から除外されると言える。

4. 考 察

Mg の NaCl 水溶液を用いた加水分解反応による水素の製造に関しては Mg 粉末の微細化により反応する表面積を増加させることで、生成速度が向上することが報告されている²⁾。微細化にはボールミルを用いて不活性ガス中での処理を行う必要がある。それに対して本研究で用いた手法は、加水分解反応と粉碎による微細化を同時に行うことで水素を製造するもので、微細な Mg 粉末の取り扱いや安全性の観点から優位性がある。加水分解を促進するためには Mg の新生面をつくる必要があるが、そのために Mg のブロックを NaCl 水溶液中で切削加工して水素を製造する方法も報告されている³⁾が、本手法に比べて装置の大型で複雑なものになる。また、本手法では原料として

通常的手法ではリサイクルが困難な切粉を用いることができることや危険物である Mg 切粉を水素製造により危険物から除外されたものにするなど利点を有している。

水素の製造過程は反応の初期での生成速度は大きいですが、反応が進行するに伴い減少していく。初期の速度を増大させるためには、微細化を促進する必要がある。Fig. 12からは 30 min 後においても微細化それほど進んでいないことがわかる。これは、海水中での粉碎を行っているため、ボールの衝撃力が直に伝わらないためであり、ボールミルの回転数をさらに増加させることで改善が期待できる。また、本研究での回転ではボールは規則的で大きな動きをしておらず、そのため衝撃力も弱いと思われる。従って、高速でランダムな動きをボールに与えることで、生成速度は改善する。

反応が進行すると $Mg(OH)_2$ が生じ、さらに溶液の pH 値も増加する。海水の pH 値は 7.73 であり、10 min 後には 9.62 まで上昇する。しかしその後は pH の増加はみられず、120 min 後では 9.4 程度であった。Mg は pH11 以上で安定となることから、反応速度が減少することが考えられるが、本研究での pH は 11 を超えることはなかった。しかしながら、局所的には pH 値が 11 を超えている可能性が反応を阻害するひとつの要因と思われる。完全に反応させて、水素変換率 100%を達成するために緩衝材等を使うなどの何らかの方法が必要である。

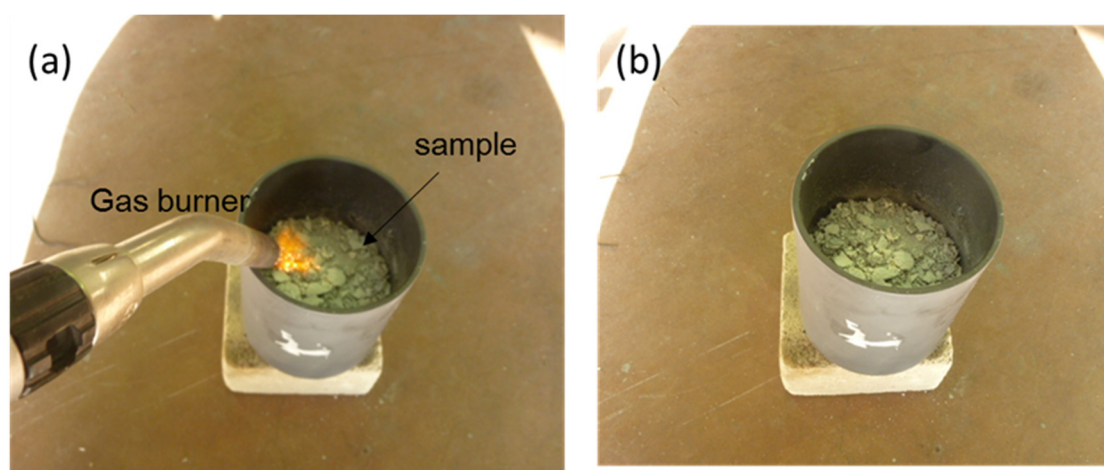


Fig. 17. Evaluation of flammability for the Mg chip reacted with sea water in the ball mill for 120min

(a) on exposing to flame of gas burner ,(b) after exposure to flame for 10 s

5. 今後の課題

Mg と海水との加水分解反応により、容易に水素を製造することが可能であるが、その速度のさらなる向上と完全に反応させるための手法が必要である。これは、ボールミルの回転数の増加あるいはより効率的な遊星型ボールミルなどを適用することで改善可能と思われる。一方で回転数等の増加は Fig. 14 に見られるようなボールあるいは容器からの混入物を増加させる可能性があり、材質等を考慮する必要がある。

システムの観点からは本研究ではボールミルを稼働するために電気エネルギーを用いており、省エネや環境の観点からは再生可能エネルギーを用いて稼働させることが望ましい。また、得られた水素は燃料電池により発電を行い、蓄電するか、水素エネルギーとして有効に利用できる仕組みを開発する必要がある。

原料に関しては、本研究では Mg の機械加工で生じる切粉を用いているが、市中品の Mg 合金には不純物が多数混入してリサイクルが困難な素材がある。そのような素材の切粉は水素製造の有望な材料となりうる。Mg に不純物が混入した場合には耐食性を著しく低下させるために、加水分解反応が促進されより効率的に水素が得られると

考えられる。将来的には切粉を製造するための装置が必要である。加水分解で生じた生成物は主に $Mg(OH)_2$ であるが、混入物もあるため、それを除去する手法を開発することで、 $Mg(OH)_2$ の利用も期待される。

6. 文献

- 1) J.F. King, A. Hopkins, and S. Thistlethwaite, "Recycling of By-Products from Magnesium Diecasting," Proc. of the Third Int. Magnesium Conf., ed. G.W. Lorimer (London, Institute of Materials, 1997), pp. 51–61.
- 2) M.-H. Grosjean, M. Zidoune, L. Roue and J.-Y. Huot, "Hydrogen production via hydrolysis reaction from ball-milled Mg-based materials", Int J Hydrogen Energy, 31 (2006) 109-119
- 3) Jun-Yen Uan, Chi-Yuan Cho and Kun-Ta Liu, "Generation of hydrogen from magnesium alloy scrap catalyzed by platinum-coated titanium net in NaCl aqueous solution", Int J Hydrogen Energy, 32 (2007) 2337-2343.

Development of a Hydrogen Production Method by Hydrolysis Reaction between Mg and Seawater

Kunio Matsuzaki, Takashi Murakami

National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Advanced Manufacturing Institute

Summary

The process for the production of Hydrogen by hydrolysis reaction of Mg chips was developed. The Mg chips generated by machining such as cutting or lath were reacted with sea water. This hydrolysis reaction was combined with ball milling process, and the production condition was investigated. The Hydrolysis reaction of Mg chips with a particle size below 200 μm generates hydrogen of 160 ml/g for 120min, meaning 16% of Mg is converted into hydrogen. On the other hand, a hydrogen of 800 ml/g is obtained by the designed process. The process makes it produce hydrogen at 5 times higher compared to the hydrolysis reaction only, and is found to be effective to produce hydrogen. This is maybe that the ball milling causes the fine particle and fresh surface, leading the increase of the reaction rate. The production rate increases with the decrease in grain size of Mg chips. The higher rotation speed of ball milling and the weight of ball, the high hydrogen is generated. At a ratio of the weight of Mg chip to the volume of sea water, 5 g to 250 ml the highest hydrogen production rate is obtained. The salt content of sea water is 3.2%, the increase in the salt content causes no significant increase of hydrogen production rate.

This process was also applied to Mg alloy AZ91, which is commonly used. The AZ91 alloy chips without classification produced by cutting are converted into hydrogen with 800 ml/g by the present process at 300min. The hydrolysis reaction only produces 80 ml/g. It is said that the process is effective for commercial Mg alloy. Mg chips generated by machining are fine, and easily combusted on heating in air before melting, therefore the recycling of the Mg chips is hard. In addition they are classified as hazardous good. After hydrolysis reaction, Mg is changed into $\text{Mg}(\text{OH})_2$, which is safe and easy to deal with. It is concluded that the developed process is useful to produce hydrogen from Mg chips effectively and convert into safe materials.