原子炉内流通形気体反応装置

In-pile Flow Type Gas Reaction Equipment

野	中	-甲	蔵*	土	井	彰**
	Kôzô N	Nonaka			Akira Doi	

要

原子炉の n, r 混合放射線を化学反応に利用する目的で原子炉 (HTR) 内に流通形気体反応装置を設置し, そ れを使用してエチレンの接触水素添加反応に及ぼす原子炉放射線の影響を検討した。この装置の設計製作にあ たっては,原子炉,反応ガスおよび放射線に対する安全性について十分考慮を払い,微量酸素分析計,逆流逆 火防止器および安全弁などを取り付け、爆発に対して万全の安全対策を施した。本装置の性能は常用圧力26 atm, 常用温度 350℃, ガス流量 4~7501/h (NTP) であり, 温度は ±1%, 流量は ±3% の範囲内で制御可能 である。また酸化亜鉛そのほかの触媒によるエチレンの水添反応において、照射による触媒活性の変化は主と して速中性子によるものと考えられる。

1. 緒 T

原子炉に高温高圧の化学反応装置を設置して、照射下における接 触反応を研究した例は国内にはなく、国外においてもきわめてまれ である(1)~(4)。したがってこの種の装置を製作し運転することによ り,原子炉を利用する放射線化学あるいは広く原子炉工学の分野に

2. 流通形気体反応装置

2.1 装置の構造

旨

本装置は1回通過形の原子炉内高温高圧気体反応装置で、その全 系統を図1に示す。

2.1.1 反応ガス供給系

おける基礎資料がえられるであろう。

原子炉内で可燃性気体の高温高圧反応を行なわせるには、系内で 万一ガス爆発が起こった際,原子炉はもとより外部に対する安全性, さらには漏えい放射線に対する安全性など万全の安全対策を考慮し なければならない。それゆえ,これらの点に関して十分検討して流 通形気体反応装置を設計製作し、日立教育訓練用原子炉(HTR)に 設置して無事運転を行なうことができた。本装置は触媒を充てんし た反応容器を原子炉の水平実験孔の先端、炉心近くまでそう入し、 エチレンと水素との混合ガスを送って反応させるものである。本報 にはこの装置の構造や性能および安全対策を報告し、さらに本装置 を用いて原子炉照射下にエチレンの水素添加反応を行なわせた結果 についても簡単に述べる。

反応ガス供給系には圧縮機系とボンベから直接供給する系とが あるが,後者は予備実験あるいは低流速実験に使用される。

圧縮機を使用する場合は、市販のボンベ入り高純度エチレンと 水素ガスとをモレキュラーシーブ(脱水用)および Deoxo (脱酸素 用)から成る精製装置を通して精製し,低圧リザーバ内に所定 の混合比に充てんしたのち, 圧縮機で36 atm に昇圧し蓄圧タン クにいったん貯留する。この加圧ガスは電磁弁 M1 とニードル弁 M2を経て高圧リザーバに導入され、それらの弁の調節によって ガス圧力は一定値に保持される。他方,直接ボンベ系を使用する 場合は,ガス圧を減圧弁で所定値に減圧後,精製して混合槽内で 両者を混合する。



____1 ____

気体反応装置系統図

株式会社東京原子力産業研究所 日立製作所中央研究所

100 昭和43年2月

日

評 論

立

第 50 巻 第 2 号







図3 弁箱の内部 (dp セル式流量計その他)





図4 炉室外設置機器

表1 流通形気体反応装置の仕様					
項 日	仕 様				
装置の材質	S U S -27				
常用圧力	26 atm				
反応温度(最高)	350°C				
反応ガスの流量	4~750 <i>l</i> /h (NTP				
反応容器の容積	25 m l				

2.1.2 主 系 統

上記のようにして主系統へ導入された反応ガスは、フィルタ、 流量計,逆流逆火防止器および低温トラップを経て照射プラグ内 の反応容器にはいる。主系統内のガス圧力は照射プラグ出ロ側の 自動圧力調整弁G1の設定により、1~26 atm の範囲で任意の値に 保持される。またガス流量は dp セル式流量計で測定され、ニー ドル弁 M3, M4 および M5 の手動調節により制御される。

このようにして反応ガスは原子炉水平実験孔にそう入された照 射プラグ先端の反応容器にはいり,放射線の照射を受けながら反 図5 原子炉実験孔への照射プラグのそう入

機器名	仕 様	機器名	仕 様
低圧リザーバ	500 <i>l</i>	反応容器	20 m <i>l</i>
圧 縮 機	20 <i>l</i> / h *	逆火防止器	30 <i>l</i> / h*
蓄圧タンク	20 <i>l</i>	脱酸素脱水器	15 <i>l</i> / h *
高圧 リザーバ	130 <i>l</i>	自動圧力調整弁	750 <i>l</i> / h
バイプライン フィルタ	30 <i>l</i> / h*	除染装置	30 <i>l</i> / h*
流 量 計	0.6~60 l /h*	真空ポンプ	100 <i>l</i> / min
逆流逆火防止器 30 <i>l</i> /h*		微量酸素分析計	0.01% O2
低温トラップ	0.16 <i>l</i>		

表2 主要機器の仕様一覧

* 36 atm における値

イルタ (5μ以上補集)を経て、弁 G1や M5により減圧され汚染 ガスリザーバに入る。さらにこのガスはケンブリッジフィルタを 通して微粉末が除去され、放射能的な安全性が十分確認されたの ち、爆発限界以下になるまで空気で十分希釈され、原子炉室の排 気ダクトへ放出される。 以上述べた本装置のおもな仕様をまとめて示したのが表1である が、設計に際しては原子炉に対する安全性を十分考慮したため、装 置各部の耐圧強度などには十分大きな値を採用してある。それらに ついては次章で説明する。なお、装置各部の主要機器の仕様を表2 に、その外観を図3と図4に示した。また図5は照射プラグを実験

応が進行する。反応容器の構造は図2に示すとおりで,外壁には シースヒータが巻かれ,その上をアルミナ系保温材でおおってあ る。触媒層の中央にはCA熱電対がそう入され,温度の測定およ び自動制御が行なわれる。反応前後のガスを照射プラグの入口お よび出口の採取用弁から採取することができる。 2.1.3 排 気 系 照射プラグを通過したガスは放射性微粉末除去用の焼結金属フ 表3 耐 圧 強 度 計 算 値

名		称			使 用 肉 厚 (mm)	材 質		
		胴		板	7.5			
反応容	容	器	鏡	底	板	10	S U S 27	
		板	上ぶ	た	10			
ñĊ		管	7φ	配	管	1	S U S 27	
			8 ø	配	管	1.5	S U S 29	

表5 薄板安全装置の仕様

設 置	場 所	個数	破壞板板厚 (mm)
蓄 圧	タンク	1	0.15
高圧リ	ザーバ	5	0.15
汚染ガス	、リザーバ	5	0.025

表4 各機器の耐圧試験結果

機器名	常用圧力 (atm)	耐 圧 試 験 圧 力 (atm)	気密試験圧力 (atm)
反応容器	26	250	28.5
高圧 リザーバ	51	100	56.5
著圧タンク	36	100	39.5
低温トラップ	26	100	28.8
泥 合 槽	51	100	56.0
圧 縮 機	36	100	39.5

表6 100 kW, 5 時間(全熱中性子束 3.2×10¹⁵ n/cm²) 照射後のガスの誘導放射能量の計算値と許容濃度

	核反応	半減期	誘導放射能量 (µCi/ml)	空気中許容濃度 (µCi/ml)
反応ガス	${}^{13}C(n, \gamma){}^{14}C$ ${}^{2}H(n, \gamma){}^{3}H$	5580Y 12.46Y	2. 28×10 ⁻¹³ 1. 22×10 ⁻¹²	1×10^{-6} 2×10^{-6}
窒素ガス	$^{15}N(n, p)^{14}C$ $^{15}N(n, \gamma)^{16}N$	5580 Y 7.35 S	7.1 ×10 ⁻⁹ 6.5 ×10 ⁻⁶	1×10-6

* 反応ガス流速 41/h, 窒素ガス流速 301/h の場合

表7 100 kW, 5時間照射後の反応容器の誘導放射能量の計算値

1	主成核種	⁵⁶ Mn	⁶⁵ Ni	⁵¹ Cr	⁵⁹ Fe	⁵⁵ Fe	28A1	³¹ Si	²⁴ Na	合 計
半	減 期	2.57H	2.56H	27.8D	45D	2.6Y	2.27M	2.62H	15H	
核	反応	$^{55}Mn(n,\gamma)$	⁶⁴ Ni(n, γ)	⁵⁰ Cr(n, γ)	⁵⁸ Fe(n, γ)	$54 \operatorname{Fe}(n, \gamma)$	²⁷ Al(n, γ)	³⁰ Si(n, γ)	²⁷ Al(n, α)	
放射	照射直後 (Ci)	11.4	9×10 ⁻¹	1×10-1	8×10-4	2×10-3	15	2×10-2	1×10-3	27
北量	15h後 (Ci)	2×10-1	2×10-3	1×10-1	8×10-4	2×10-3	≈0	4×10-4	6×10-4	3×10-1

孔にそう入している様子を示したものである。

2.2 装置の安全対策

本装置は原子炉内で可燃性ガスを用いて高温高圧反応を行なわせ るので,装置の設計製作にあたっては,装置の耐圧,気密および原料 ガスや反応生成物の爆発に関する安全性の検討が特に必要である。

装置の耐圧強度は高圧ガス取締法の基準⁽⁵⁾をかなり安全側に越え る値で設計したが、特に反応容器については容器内での爆発も考慮 し、常用圧力の10倍で耐圧試験を行なっている。反応容器および その出入口配管の耐圧強度計算値を表3に示す。また、各機器の気 密試験には空気とヘリウムガスとを使用して常用圧力の1.1倍で行 ない、漏えいのないことを確認した。各機器の耐圧および気密試験 結果は表4に示すとおりである。なお装置の組立完了後に全系統に ついて窒素75 atm で耐圧試験を,水素56 atm で気密試験を行ない、 十分に安全であることを確認した。

次に、漏えいガスの爆発を未然に防ぐために、配管途中の弁や
継手などガスが漏れやすい個所をできるだけ集めて弁箱に納め、弁
箱内を常に換気した。また、炉内にそう入する照射プラグを耐圧外
管でおおい、万一漏えいガスが爆発しても原子炉に危害を及ぼさな
いように防護した。さらにプラグ内部には窒素を流して空気を置換
し、爆発が起こるのを防ぐとともに空気中のアルゴンの放射化を避けた。系内の圧力が過度に上昇した場合の安全対策としては、バネ
式安全弁および破壊板安全装置を設けた。後者にはニッケル板を用い、破裂試験の結果にもとづいて適当な板厚を決め、表5に示す各
容器に取り付けた。
一方、ガス爆発の波及防止に対しては、図6に示すような順逆両
方向に作動する自由ピストン形逆流逆火防止器を試作し、照射プラ
グ入口に設けた。この防止器はガス出入口に規定値以上の差圧が生
じた際に、自由ピストンが移動して流路を閉じ、同時に爆発の衝撃
波および火炎を枝管内のカーボランダム粒で吸収して、ほかへの波



図6 逆流逆火防止器

及を阻止する。水素, エチレンと空気および水素と空気との混合ガ スについて爆発時の作動試験を実施*した結果,前者の爆発は充てん 筒で,後者の場合はピストンの作動で爆発の伝播(でんぱ)が完全に 阻止され,防止器の作動が確認された。なお,系内の酸素量を検知 するためには圧縮機出口に微量酸素分析警報計を設け,酸素濃度を 0.01~1%の範囲内で測定監視した。

2.3 放射線に関する検討

2.3.1 誘導放射能

_____ 3 _____

反応ガスおよび窒素ガスを炉出力 100 kW (熱中性子束密度 1.8

×10¹¹n/cm²•s)で5時間照射した場合の誘導放射能の計算値を表 6に示す。これら核種の放射化断面積は小さく,また照射時間も短 いため、生成量は許容量よりもはるかに少なく実験上の問題はな い。つぎに反応容器および耐圧外管を上記と同一の条件で照射し た場合,照射直後および放置後の誘導放射能量を表7に示した⁽⁶⁾。 反応容器や耐圧外管は原子炉停止後少なくとも15時間は炉内に * 東京工業試験所に依頼して実施した。

102	昭和43年2月		日	17.	評	斋	第 50 巻 第 2 号	
-----	---------	--	---	-----	---	---	--------------	--

触	媒(10g)	Al ₂ O ₃	Z	nO	Cr	2O3	NiO ₂
生成放身	寸性 核 種	²⁸ A1	⁶⁹ mZn	⁷¹ Zn	⁵¹ Cr	⁵⁵ Cr	⁶⁵ Ni
半	咸 期	2.27M	13.8H	3H	27.8D	3.5M	2.6H
核」	灵 応	$^{27}Al(n,\gamma)$	$^{68}Zn(n,\gamma)$	$^{70}Zn(n,\gamma)$	⁵⁰ Cr(n, γ)	$^{54}Cr(n,\gamma)$	⁶⁴ Ni(n, γ
誘導放射	直後	1.1×10-2	1.4	0.1	1.4	3.4	0.8
能 量 (mCi)	: 15h後	≈0	0.9	0.004	1.4	≈0	0.01

表8 100 kW, 5 時間照射後の各種触媒の誘導放射能量計算值

とどまるので,その間に²⁷Al,⁶⁵Ni,³¹Si などの短半減期核種は減 衰してしまい,⁵¹Cr や⁵⁶Mn のみが残る。しかし,照射実験をくり 返し行なうと,長半減期の⁵⁹Fe,⁵⁵Fe および⁵¹Cr が蓄積して取り 扱いが困難になるので交換する必要があろう。

次に各触媒10gの誘導放射能量の計算値を表8に示す。NiO₂ やCr₂O₃などのように、反応容器や耐圧外管の含有元素と同種の 元素から成る触媒の場合はもとより、いずれの触媒でも量が少な い場合は、その誘導放射能量は反応容器などのそれに比べて著し く小さく問題とならなかった。しかし、粉末触媒を使用する場合 は照射後の容器からの取り出しやその後の取り扱いに細心の注意 を払った。

2.3.2 漏えい放射線

表9 100 kW 運転中の原子炉水平実験孔からの 漏えい線量

L
/h

圭 10	反応家児内の市歴了市家店
1 10	风心谷 <u>命</u> 的97日在丁米省度

エネルギー (eV)	中性子束密度 (n/cm ² •s)
< 0.45	1.80×10 ¹¹
$0.45 \sim 180 \times 10^{3}$	2.2×10^{11}
$> 180 \times 10^{3}$	7.4×10 ¹⁰
	エネルギー (eV) < 0.45 $0.45 \sim 180 \times 10^{3}$ > 180×10^{3}

したのち,触媒層の温度,反応ガスの圧力や流量を実験条件に設定する。ガスクロマトグラフを用いて出口ガスの分析を適時行ない,反応が定常になったのちに原子炉の運転を開始する。

(8) 反応を終えたガスは汚染ガスリザーバにいったん貯留し除 染装置を通して廃棄する。

以上が装置の運転方法であるが,触媒のみを入れ換えて連続的に 実験する場合は(1)~(5)の操作は省略できる。通常実験開始ま での所要時間は約2.5時間である。

3.2 装置の性能

3.2.1 流量および圧力の制御

主系統の圧力は入口および出口のニードル弁(M3, M4 および

照射プラグの鉛遮へい部ではガス配管をだ行させて実験中の放 射線の漏えいをできるだけ防ぐようにしたが,なお漏えい放射線 が少量認められた。表9は炉出力100kWで照射実験中,実験孔 出口の表面で実測した結果を示したものである。この程度の漏え い線量率であるので,照射実験中実験孔の直前に長時間とどまら ないように管理すれば,安全上問題はないと考えられる。

実験中の放射線被ばくは実験孔から照射プラグを出し入れする 際に受けるものが最も多いので、その際過度の被ばくを避けるた めクレーンそのほかの遠隔操作用具を用いて作業を行なった。従 来の照射実験では、1回の実験中の最高被ばく量は数 mrem であ り、許容値に比べ十分低い。また試料ガス採取場所、フィルタ容 器、除染装置などの表面に高感度の GM 計数管を密着させ、反応 ガスやそれに伴って出てくる触媒粉末からの放射線量を測定した が、いずれの場所でも自然計数率の程度であり、安全上の問題は なかった。

3. 装置の運転

3.1 装置の運転方法

前述したように,反応ガスの供給系には圧縮機系とボンベ系とが あるが,いずれを用いても運転方法には大差がない。以下操作順序 に従って運転方法の概略を述べる。

- (1) 計器類, ガス分析装置などを作動状態にし, 警報器の正常 な作動を確認する。
- (2) 全系を真空ポンプで排気して系内の空気を除去後さらに窒 素ガスを流して十分洗浄し,酸素濃度を0.02%以下に下 げる。
- (3) 原料ガスを精製装置で精製し,所定の容積比に混合して低

M5) と出口の自動圧力調整弁G1により調節される。ガスの圧力 変動は 26 atm において 0.1 atm 以下であり,反応率の測定には まったく影響を及ぼさない。一方,流量は最初入口側のニードル 弁で調節しようと試みたが,電磁弁 M1の開閉に伴って高圧リザ ーバの圧力変動が起こり,流量が著しく変動した。そこで,電磁 弁と高圧リザーバとの間にニードル弁 M2 を設け,それを適度に 閉じることにより電磁弁の開閉に伴う高圧リザーバの急激な圧力 変動を防ぎ,流量を一定にすることができた。その結果,26 atm で 40~80 ml/min の流量においても±3% 以下の変動に押えるこ とができた。

3.2.2 温度の制御

電圧調整器2個と2位式自動温度調節指示計とを組合せ、反応 容器に印加する電圧を自動制御することにより、触媒層の温度を 350℃まで約±1%の範囲内に保持できる。なお、反応器の最高 使用温度350℃に達するには、反応ガスの圧力26 atm、流量720 *l*/h (NTP)で約1時間程度を要する。

4. エチレンの水素添加反応実験

4.1 実験方法

— 4 —

エチレンの水素添加触媒には酸化亜鉛 (ZnO), 銅, ニッケルおよ びアルミナ (Al₂O₃)を使用した。ZnOには試薬特級品 (BET 表面積 2.3m²/g)を用い,真空中 400°C 2時間加熱して活性化した。Cu 触 媒には酸化第二銅粉末を加圧成形後焼結粉砕して用い,粒度0.2~0.6 mmにふるい分けしたものを水素気流中で 400°C 2時間還元して活 性化した。Ni 触媒には 30 メッシュの 金網 (表面積 2.2×10⁻⁴m²/g) を用い,これを酸素気流中で 500°C 1時間酸化後,水素気流中 400°C 2時間還元して活性化した。Al₂O₃ 触媒には η -Al₂O₃ を用い,水素

圧リザーバに充てんする。

- (4) 圧縮機により反応ガスをまず供給系に送って窒素ガスを置換したのち、高圧リザーバに設定圧まで充てんする。
- (5) 全系を反応ガスで置換する。
- (6) 触媒を入れた反応容器を照射プラグに取り付け,全系を反応圧まで昇圧してガスの漏えいがないことを再確認する。
- (7) 照射プラグを原子炉実験孔にそう入して配管や配線を接続

気流中350℃3時間加熱して活性化した。

これらの活性化した各触媒約10gを反応容器に入れ,原子炉内で エチレンの水添反応を行なわせた。炉出力100kW運転時における 反応容器内の中性子束密度を表10に示す。照射プラグ出口のガスを ガスクロマトグラフで分析し,生成したエタンの量から反応速度(触 媒活性)を求め,その値が定常値に達したのちに原子炉の運転を開始 し,反応速度の変化を調べた。



図7 ZnO触媒によるエチレン水素添加反応速度

4.2 実験結果および考察

ZnO 触媒は反応ガス中の微量の水で被毒を受け、徐々に活性が低下し、反応速度 k と反応時間 t との間には次式の関係が認められた。
 -log k=A₀ t+B.....(1)
 A₀は触媒活性の低下速度に関係する定数で、反応ガス中の水蒸気分



- たが、それらを要約すると以下のとおりである。
 - (1) 本装置は原子炉内1回通過形気体反応装置で、反応圧力は 26 atm,温度は350℃,流量は750 l/h(NTP)まで可変で ある。反応温度は±1%,ガス流量は±3%の範囲で制御 可能である。
 - (2) 反応ガスの供給系として圧縮機系とボンベ系とがあり,実

圧に依存し、その分圧が高くなるほど大きい値となる。Bは触媒の 初期活性を示す定数である。反応進行中照射を行なった場合, A。 の変化率を照射の効果とみなした。ZnO 触媒を用い、反応ガスの組 成が C₂H₄: H₂=1:1, 圧力1 atm, 流速 90 ml/min, 反応ガス中の水 蒸気分圧 0.5 mmHg, 反応温度 87℃ で炉出力を変えて照射した結果 を図7に示す。各照射期間中の速中性子束密度 ø は 1.5×10⁸n/cm²・ s(に出力 200 W), 2.2×10⁹ (3 kW) および 2.2×10¹⁰ n/cm² · s(30 kW) であるが、Aoの値は ø によって変化する。図8はこれと同一の反 応条件で線量率を種々変えて照射した結果から、積分速中性子束 $\Sigma \phi t$ と照射による反応速度曲線の傾斜の変化率 AA/A_0 との関係を 合は減少する。換言すれば活性は増大する傾向を示している。さら に $\sum \phi t$ が5×10¹³ *nvt* を越えて照射を続けると、 $AA_0=0$ を経て 1A₀>0となり,やがて著しい活性低下がみられる。しかし,水を十 分除去(水蒸気分圧 0.03 mmHg 以下)した反応ガスを用いると, $\sum \phi t$ が 2×10¹³ nvt までは照射しても曲線の傾斜はほとんど変化せ ず、5×10¹³nvtを越えると照射中の傾斜は照射前より明らかに大き くなり、照射による活性の低下が起こる。

Cu, Ni および η-Al₂O₃ についても ZnO と同様な条件で照射を行 なったが、いずれも照射の効果はまったく認められなかった。

つぎに、原子炉放射線の触媒活性に及ぼす照射効果において、中 性子と γ 線の効果とを区別するためにZnO触媒について⁶⁰Co γ 線 の照射を行なった。前述したような原子炉照射下で著しい活性の低 下がみられた場合 ($\Sigma \phi t > 5 \times 10^{13} nvt$) の γ 線量 (2.5×10^{4} R) 以上の 全線量 $2 \sim 3 \times 10^{5}$ R の γ 線を単独に照射しても、触媒活性にほとん ど影響が認められなかった。以上の結果からエチレンの水添反応に おいて、触媒活性に影響を及ぼすのは速中性子であり、また水分子

- 験条件に適した系を使用できる。
- (3) 反応に高圧可燃性ガスを使用できるように,全機器と配管 について十分に耐圧および気密試験を行なった。また,微 量酸素分析警報計や逆流逆火防止器,安全弁などを設置し て,酸素の混入や爆発に対する安全対策とした。
- (4) 反応ガスや触媒の誘導放射能および原子炉実験孔からの漏 えい放射線に対しても危険なく実験することができる。
- (5) エチレンの水添反応においては原子炉照射下に ZnO 触媒 の活性は低下し,その低下速度はさらに反応ガス中の水の 量に大きく影響される。他方, Cu, Ni あるいは Al₂O₃ 触媒 では照射による活性の変化はみられない。

本装置は原子炉内において, エチレンの水素添加反応に限らず, ほかの固相一気相系の接触反応の研究にも利用できる。また, 照射 プラグ内の電気配線を使用して温度やふん囲気を変えながら, 種々 の材料の照射下における電気伝導度や熱起電力などの測定も可能で ある。今後, 原子炉の放射線を用いた放射線化学や物性の研究分野 に大いに利用されることを期待している。

なお,本装置の基本構想は東京原子力産業研究所井上実(現在日 立製作所中央研究所主任研究員),佐藤温吉郎および大塚泰郎(現在 日立京浜エンジニアリング)氏らが中心にまとめたものである。

終わりに,本研究の企画以来終始ご援助をいただいた東京原子力 産業研究所浜田秀則社長ほか関係各位,また研究の全期間直接ご協 力ご指導いただいた日本油脂株式会社開発部次長妹尾良典博士,装 置の運転や実験に尽力された東京原子力産業研究所桜井直行,湯原 功,滝口健一郎の各氏,さらに装置の設計や製作に尽力された日立 製作所本社および日立工場原子力課のかたがたに深謝する。なお, 本研究は昭和38~40年度までの原子力平和利用研究費補助金をえ

の存在量が原子炉照射下の触媒活性の変化に大きく影響すると考え	て,東京原子力産業研究所が主体となって行なったものである。
られる。	参考文献
5. 結 言 以上,原子炉 HTR に設置した流通形気体反応装置の構造,性能 および安全対策について詳述し,さらにそれを用いて調べたエチレ ンの水素添加反応におよぼす原子炉放射線の照射効果を簡単に述べ	 B. H. Bragg, et al: WADC Tech. Reps., 59~286 (1959) M. Donato: Nature 194, 969 (1962) J. H. Lunsford, T. W. Leland: J. Phys. Chem., 66, 2591 (1962) И. Максим, Кинетика и Катализ, 4, 3 (1963) 高圧ガス保安協会: 高圧ガス取締法, 87 (昭 39) 木村健二郎: 放射線データーブック, 99 (昭-33 地人書院)