

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。 2001. 6. 6

[技術情報室]

# 窒素15レーザー同位体分離に関する調査研究

1993年2月

動力炉・核燃料開発事業団

東 海 事 業 所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

こ  
てい  
ない  
注意

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

本

動力炉・核燃料開発事業団 東海事業所

技術開発推進部・技術管理室

社 内 資 料  
PNC ~~半~~N 8420 93-002  
1 9 9 3 年 2 月

## 窒素15レーザー同位体分離に関する調査研究



石井 克典\* , 佐々木樹紀\* ,  
須藤 收\* , 島崎 善広\*

### 要 旨

分子レーザー法応用研究の一環として、窒化物燃料開発に必要となる窒素15のレーザー同位体分離技術について調査研究を行った。

オンライン情報検索システムDIALOGにより文献検索を行い、実際に文献を入手して分離プロセス、作業物質、分離係数等を調査・検討した。

文献調査により以下の結果を得た。

色素レーザーによる光分解反応は一般に分離係数が高く、テトラジンを作業物質に用いた例では最大 10000程度であった。炭酸ガスレーザー+紫外光による2段階励起光分解反応では、作業物質にアンモニア用いた例が分離係数が最大で、分離係数は10程度であった。炭酸ガスレーザーによる多光子解離反応は比較的分離係数が低く、分離係数は4が最大であった。レーザー誘起化学反応では、窒素と酸素から一酸化窒素を合成する反応を利用した例が分離係数が最大で、分離係数は600であった。

---

\* 核燃料技術開発部 新型濃縮技術開発室

## 目次

第1章	はじめに	1
第2章	文献調査結果	2
第1節	可視光または紫外光による 光分解反応を用いた研究例	2
第2節	赤外光+紫外光による 2段階励起光分解反応を用いた研究例	4
第3節	多光子解離反応を用いた研究例	6
第4節	レーザー誘起化学反応を用いた研究例	9
第5節	その他の方法を用いた研究例	12
第6節	窒素15の同位体分離に応用できる研究例	13
第3章	まとめ	15
	参考文献	16

## 1. はじめに

窒化物燃料はウラン原子密度が高く、減速能が低く、融点が高いので、将来の高速増殖炉燃料として有望視されている<sup>1)</sup>。

天然の窒素は存在比99.63%の $^{14}\text{N}$ と0.366%の $^{15}\text{N}$ から成っている<sup>2)</sup>。 $^{14}\text{N}$ は高速中性子に対する吸収断面積が大きく、中性子吸収反応により水素と放射性的 $^{14}\text{C}$ を生成する<sup>3)</sup>。したがって窒化物燃料の製造には $^{15}\text{N}$ を用いることが望ましい。

現在日本で $^{15}\text{N}$ は蒸留法により生産されているが、窒化物燃料に用いるには高価であり、レーザー法や化学交換法などのさらに経済的に優れた方法の開発が必要である。

本報告書は分子レーザー法応用研究の一環として、 $^{15}\text{N}$ レーザー同位体分離技術について1992年までの文献調査を行い、得られた結果をまとめたものである。

## 2. 文献調査結果

### 1. 可視光又は紫外光による光分解反応を用いた研究例

- (1) U. Bosel, H. J. Neusser and E. W. Schlag: Chem. Phys. Lett., 61 (1979) 11.

"Production of isotopically pure molecules by dye laser excitation"

作業物質 : 対称テトラジン ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4$ )

レーザー : ArイオンレーザーポンプCW色素レーザー

波長 :  $18134.5\text{cm}^{-1}$

照射条件 : 60mWで2時間程度照射

作業物質の温度は室温、圧力は約1Torrと推定される。

分離過程 :  $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4 \rightarrow 2\text{HCN} + \text{N}_2$

分離係数 :  $^{15}\text{N}$ に関して1077、 $^{13}\text{C}$ に関して1308

- (2) K. B. Thakur and V. A. Job: Symposium on Quantum electronics (Held at) Pune extended abstracts of contributed papers (1981) 151.

"Isotope selective laser photolysis of s-tetrazine"

作業物質 : 対称テトラジン ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4$ )

レーザー :  $\text{N}_2$ レーザーポンプ色素レーザー

ArイオンレーザーポンプCW色素レーザー

波長 : 5513.9A

照射条件 : 作業物質の温度は室温、圧力は約1Torrと推定される。

分離過程 :  $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4 \rightarrow 2\text{HCN} + \text{N}_2$

分離係数 : パルス光では4.7、CW光では1000以上。

備考 : CW光で分離係数が高いのは、レーザーライン幅がせまく、正確なチューニングができるためと説明している。

- (3) R. R. Karl Jr. and K. K. Innes: Chem. Phys. Lett., 36 (1975) 275.

"Dye-laser-induced separation of nitrogen and carbon isotopes"

作業物質 : 対称テトラジン ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4$ )

レーザー : ArイオンレーザーポンプCW色素レーザー

波長 : 5515A

照射条件 : 5mW~25mWで0.5分から30分照射

作業物質の温度は室温、圧力は約1Torrと推定される。

分離過程 :  $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4 \rightarrow 2\text{HCN} + \text{N}_2$

分離係数 : 最大72

(4) N.J.Turro, G.B.Schster, R.G.Bergman, K.J.Shea, J.H.Davis:

J. Am. Chem. Soc., 97(1975)4760.

"Isotopically selective photochemistry in molecular crystals"

作業物質 : ベンゼンマトリクス中の対称テトラジン( $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4$ )

マトリクスの温度は1.6K

レーザー :  $\text{N}_2$ レーザーポンプ色素レーザー

波長 :  $17766\text{cm}^{-1}$

照射条件 : 数分間の照射

分離過程 :  $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4 \rightarrow 2\text{HCN} + \text{N}_2$

分離係数 :  $^{15}\text{N}$ ,  $^{13}\text{C}$ に対して10000程度が得られる。

(5) B.Dellinger, D.S.King, R.M.Hochstrasser and A.B.Smith III:

J. Am. Chem. Soc., 99(1977)7138.

"High-resolution optical spectroscopy and laser isotope enrichment of matrix-isolated s-tetrazine in argon"

作業物質 : アルゴンマトリクス中の対称テトラジン( $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4$ )

温度4.2K、希釈度1000倍程度

レーザー :  $\text{N}_2$ レーザーポンプ色素レーザー

波長 :  $17928.4\text{cm}^{-1}$

照射条件 : パルス繰り返し50Hzで5分間照射

分離過程 :  $\text{H}_2\text{C}_2\text{N}_4 \rightarrow 2\text{HCN} + \text{N}_2$

分離係数 : 分離係数に関して具体的記述は無いが、照射後の可視スペクトルのデータでは $\text{H}_2^{12}\text{C}_2^{14}\text{N}_4$ は完全に消滅しており、分離係数は非常に大きい(1000以上はあると思われる)。

(6) P.A.Hackett, R.A.Back and S.Koda: Can. J. Chem., 56(1978)2981.

"Enrichment of nitrogen-15 by the direct laser photolysis of ammonia- $\text{d}_3$  in the A-X transition"

作業物質 : アンモニア( $\text{ND}_3$ )

レーザー :  $\text{N}_2$ レーザーポンプ色素レーザーの2倍波

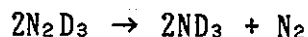
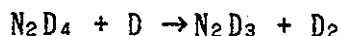
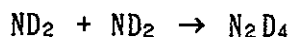
波長 : 220.39nm

照射条件 :  $5\mu\text{J}$ のパルスを10Hzで3時間照射

ND<sub>3</sub>の温度は室温、圧力は300Torr

アンモニア内の<sup>15</sup>N初期濃度は0.40%~47.5%

分離過程：記述は無いが



の反応でN<sub>2</sub>として濃縮されると推定される。

分離係数：最高で4.8

(7) H.L.Chen: Patent US4064025(1977)

"Separation of carbon and nitrogen isotopes by selective photodissociation azo or diazo compounds"

作業物質：アゾ化合物またはジアゾアルカン

例えばアゾメタン(C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>N<sub>2</sub>)、ジアゾメタン(CH<sub>2</sub>N<sub>2</sub>)など

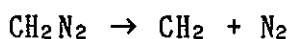
レーザー：色素レーザーやTEA CO<sub>2</sub>レーザーなど

波長：ジアゾメタンに関してλ=4358Å

アゾメタンに関しては具体的記述は無いが3200Å<λ<3900Å程度

照射条件：エチレンスカベンジャーを含む

分離過程：ジアゾメタンに関して



アゾメタンに関しては記述無し。

分離係数：記述無し

2. 赤外光+紫外光による2段階励起光分解反応を用いた研究例

(1) Y.Izawa, Y.Noguchi, C.Yamanaka: Oyobutsuri, 44(1975)898.

"Separation of nitrogen isotopes by laser light"

C.Yamanaka: Genshiryoku Kogyo, 21(1975)9.

"Development of energy by laser. Nuclear fusion and isotope separation"

Y.Izawa, Y.Noguchi, C.Yamanaka: Jpn. Conf. Radioisot., 12(1976)322.

"Separation of nitrogen isotopes by Laser light"



作業物質 : アンモニア (NH<sub>3</sub>)  
レーザー : TEA CO<sub>2</sub>レーザー  
アンモニアのフィルターを通った空気中放電光  
波長 :  $\lambda_1=927\text{cm}^{-1}$ 、 $\lambda_2=2205\text{Å}$   
照射条件 : 炭酸ガスレーザー光は5mJのパルスを5000ショット  
紫外光 = 100W/cm<sup>2</sup>  
アンモニアの温度は常温、圧力は10Torr~100Torr  
分離過程 : NH<sub>3</sub> → NH<sub>2</sub> + H  
NH<sub>2</sub> + NH<sub>2</sub> → N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>  
N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> + H → N<sub>2</sub>H<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>  
2N<sub>2</sub>H<sub>3</sub> → 2NH<sub>3</sub> + N<sub>2</sub>  
の反応でN<sub>2</sub>として濃縮される。  
分離係数 : 最高で9程度

(2) R.V.Ambartsumyan, V.S.Letokhov, G.N.Makarov and A.A.Puretskii:  
JETP Lett., 17(1973)63.

"Separation of nitrogen isotopes with a laser"

作業物質 : アンモニア (NH<sub>3</sub>)  
レーザー : TEA CO<sub>2</sub>レーザー  
アンモニアのフィルターを通った空気中放電光  
波長 :  $\lambda_1=947\text{cm}^{-1}$ 、 $\lambda_2=45351\text{cm}^{-1}$   
照射条件 : 炭酸ガスレーザー光のエネルギーは 60mJ/パルス  
紫外光の放電の条件はC=0.3μF、U=20kV  
アンモニアの温度は常温、圧力は20Torr  
 $^{14}\text{NH}_3 : ^{15}\text{NH}_3 = 1 : 1$   
分離過程 : NH<sub>3</sub> → NH<sub>2</sub> + H  
NH<sub>2</sub> + NH<sub>2</sub> → N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>  
N<sub>2</sub>H<sub>4</sub> + H → N<sub>2</sub>H<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>  
2N<sub>2</sub>H<sub>3</sub> → 2NH<sub>3</sub> + N<sub>2</sub>  
の反応でN<sub>2</sub>として濃縮される。  
分離係数 : 最高で4

(3) P.F.Zittel: Report DOE/ER/01017-T1(1986)

"A progress report and proposal concerning the study of isotopically selective, two step, photodissociation of polyatomic molecules"

作業物質 : 液体酸素、液体窒素、液体希ガスのような極低温溶媒中の $N_2O$   
特に液体希ガス中の $N_2O$   
レーザー :  $CO_2$ レーザーの2倍波とArFエキシマレーザー  
波長 :  $\lambda_1 = N_2O$ の $\nu_3$ 振動に相当する周波数  
 $\lambda_2 = 193nm$   
照射条件 : 記述無し  
分離過程 :  $2N_2O \rightarrow 2N_2 + O_2$   
分離係数 :  $N_2O$ に関しては実験は行っていない。  
OCSに関しては $^{12}C$ の $\beta = 3.4$

### 3. 多光子解離反応を用いた研究例

(1) A.M.Glazova, A.G.Kudziev, G.I.Tkeshelashvili and Eh.B.Shatberova:  
Izv.Akad.Nauk Gruz.SSR.Ser.Khim., 12(1986)93.

"Study of isotope effect during dissociation of  $CF_3NF_2$   
perfluoromethylamine molecule in field of  $CO_2$  laser radiation"

作業物質 : フッ素置換メチルアミン( $CF_3NF_2$ )

レーザー : TEA  $CO_2$ レーザー

波長 :  $938.7cm^{-1}$

照射条件 : エネルギー =  $4J/cm^2$  パルス

$CF_3NF_2$ は常温

分離過程 :  $CF_3NF_2 \rightarrow CF_3 + NF_2$

$2CF_3 \rightarrow C_2F_6$

$2NF_2 \rightarrow N_2F_4$

分離係数 : 4

(2) N.V.Chekalin, V.S.Dolzhikov, Yu.R.Kolomiysky, V.S.Lokhman, V.S.Letokov  
and E.A.Ryabov: Phys.Lett.A, 29(1976)243.

"Isotope shift in the spectrum of multiquantum absorption of  
nitromethane molecule in intense IR field"

N.V.Chekalin, V.S.Dolzhikov, Yu.R.Kolomiysky, V.S.Lokhman, V.S.Letokov  
and E.A.Ryabov: Appl.Phys., 13(1977)311.

"Experimental selection of molecules for isotope separation by  
multiple-photon dissociation in an intense IR field"

R.V.Ambartsumyan, G.I.Bekov, Yu.A.Gorokhov, V.S.Letokov, G.N.Makarov,  
V.I.Mishin, E.A.Ryabov, A.A.Puretskii, N.V.Chekalin:

Report KFK-tr-523; AED-Conf-77-070-001(1977)

作業物質 : ニトロメタン( $\text{CH}_3\text{NO}_2$ )

レーザー : TEA  $\text{CO}_2$  レーザー

波長 :  $\nu_7$  振動を励起する場合は10P(26)

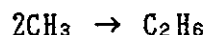
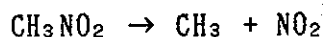
$\nu_{13}$  振動を励起する場合は $1025\text{cm}^{-1}$

照射条件 :  $10^9\text{W}/\text{cm}^2$  で7000ショット

作業物質の混合比  $\text{CH}_3^{15}\text{NO}_2 : \text{CH}_3^{14}\text{NO}_2 = 1 : 1$

圧力は0.5Torr、温度は常温

分離過程 : 記述は無いが



と推定される。

分離係数 :  $\nu_7$  を励起した場合は1.65、 $\nu_{13}$  を励起した場合は1.18

(3) H.Chen and C.Borzileri: J. Appl. Phys., 50(1979)7177.

"Nitrogen isotope separation by multiphoton dissociation  
of methylamine"

H.Chen and C.Borzileri: Report UCRL-81744; Conf-790415-1(1978)

"Nitrogen isotope separation by multiphoton dissociation  
of methylamine"

作業物質 : メチルアミン( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ )

レーザー : TEA  $\text{CO}_2$  レーザー

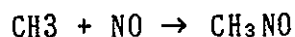
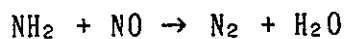
波長 : 9P(24)

照射条件 : フルエンス =  $60\text{J}/\text{cm}^2$

作業物質の温度は常温、圧力は1.0Torr

$\text{CH}_3^{14}\text{NH}_2 : \text{CH}_3^{15}\text{NH}_2 : \text{NO} = 1 : 1 : 4$

分離過程 :  $\text{CH}_3\text{NH}_2 \rightarrow \text{CH}_3 + \text{NH}_2$



分離係数 : 最高で2.0

(4) S.A.Tuccio: Patent US 4193855(1978)

"Isotope separation by multiphoton dissociation of methylamine"

with an infrared laser”

作業物質 : メチルアミン(CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub>)

レーザー : TEA CO<sub>2</sub>レーザー

波長 : 10R(14)

照射条件 : 600~700mJで5000ショット照射

作業物質の温度は室温、圧力は1.0~9.0Torr

分離過程 : CH<sub>3</sub>NH<sub>2</sub> → CH<sub>3</sub> + NH<sub>2</sub>

NH<sub>2</sub>はアンモニアに変わる。

分離係数 : 最高で1.67

- (5) C.P.Robinson, S.D.Rockwood, R.J.Jensen, J.L.Lyman and J.P.Aldridge:  
Patent CA 1060840 A(1979)

”Laser isotope separation by multiple photon absorption”

作業物質 : 三フッ化窒素(NF<sub>3</sub>)

レーザー : TEA CO<sub>2</sub>レーザー

波長 : 記述無し

照射条件 : スカベンジャーとして水素を含む。

分離過程 : NF<sub>3</sub> → NF<sub>2</sub> + F

2F + H<sub>2</sub> → 2HF

分離係数 : 記述無し

備考 : 実験は行っていない。

- (6) E.B.Aslanidi, A.B.Bakhtadze, K.V.Baiadze, R.I.Zainullin, M.N.Kerner and  
Yu.S.Turishchev: Soobshch. Akad. Nauk. Gruz. SSR, 90(1978)573.

”Separation of isotopes of carbon, boron, and nitrogen in a strong  
infrared laser field”

作業物質 : 三フッ化窒素(NF<sub>3</sub>)

レーザー : TEA CO<sub>2</sub>レーザー

波長 : 1031cm<sup>-1</sup>(ν<sub>1</sub>振動)や907cm<sup>-1</sup>(ν<sub>3</sub>振動)

照射条件 : 記述無し

分離過程 : NF<sub>3</sub> → NF<sub>2</sub> + F

分離係数 : 記述無し

備考 : 実験は行っていない。

- (7) V.D.Borman, B.I.Nikolaev and V.I.Troyan: At. Energ., 40(1976)69.

"On the possibility of stimulating an isotopically selective heterogeneous reaction by laser radiation

作業物質 : アンモニア ( $\text{NH}_3$ )

レーザー :  $\text{CO}_2$ レーザー

波長 :  $10.6 \mu\text{m}$

照射条件 : 記述無し

分離過程 :  $\text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_2 + \text{H}$

$2\text{H} \rightarrow \text{H}_2$

$2\text{NH}_2 \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{H}_2$

分離係数 : 記述無し

備考 : 実験は行っていない。

(8) L.P.Kudrin: Report IAE-2412(1977)

"Experiments on isotope separation in the infrared laser radiation field"

作業物質 : アンモニア ( $\text{NH}_3$ )

レーザー :  $\text{CO}_2$ レーザー

波長 :  $10.7 \mu\text{m}$

照射条件 : 記述無し

分離過程 :  $\text{NH}_3$ を $\text{N}_2$ に分解する。

分離係数 : 記述無し

備考 : 実験は行っていない。

#### 4. レーザー誘起化学反応を用いた研究例

(1) A.Hartford jr. and S.A.Tuccio: Chem. Phys. Lett., 60(1979)431.

"Nitrogen isotope enrichment via infrared laser induced isomerization of methyl and ethyl isocyanide"

A.Hartford jr. and S.A.Tuccio: Patent US 4202741(1978)

"Enrichment of nitrogen isotopes by induced isomerization of isocyanides"

作業物質 : メチルイソシアニド ( $\text{CH}_3\text{NC}$ )

エチルイソシアニド ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NC}$ )

レーザー : TEA  $\text{CO}_2$ レーザー

- 波長 : メチルイソシアニドの場合  $10P(40)$ 、 $945\text{cm}^{-1}$   
エチルイソシアニドの場合  $10R(34)$ 、 $984\text{cm}^{-1}$
- 照射条件 :  $400\sim 500\text{mJ}$ のエネルギーで $1000\sim 2500$ ショット照射  
作業物質の温度は室温、圧力は $0.5\text{Torr}\sim 10.0\text{Torr}$
- 分離過程 : メチルイソシアニドの場合  
 $\text{CH}_3\text{NC} \rightarrow \text{CH}_3\text{CN}$   
エチルイソシアニドの場合  
 $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NC} \rightarrow \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CN}$   
残ったシアニドと生成したニトリルはクロマトグラフ技術で容易に分離できる。
- 分離係数 : メチルイソシアニドに関して $1.24\sim 1.34$   
エチルイソシアニドに関して $1.19$
- 備考 :  $1000\text{cm}^{-1}$ の吸収の同位体シフトは $4\text{cm}^{-1}$ 程度である。  
 $2150\text{cm}^{-1}$ の吸収は同位体シフトが $40\text{cm}^{-1}$ あるので、さらに大きな分離係数が期待できる。

- (2) N.G.Basov, E.M.Belenov, V.A.Isakov, E.P.Markin, A.N.Oraevskii, V.I.Romanenko and N.B.Ferapontov: *Sov. J. Quant. Electron.*, 5(1975)510.

"Laser-stimulated chemical reactions and isotope separation"

作業物質 : 空気 ( $\text{N}_2 + \text{O}_2$ )

レーザー : Qスイッチルビールーザーと

液体窒素中の誘導ラマン散乱の第1ストークス光

照射条件 : ストークス光のエネルギーは $0.8\sim 1.4\text{J}$ /パルス

作業物質の温度は室温、圧力は $200\sim 500\text{Torr}$

分離過程 :  $\text{N}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}$

分離係数 : 約600

- (3) V.Laurent, T.Kikindai: *Bull. Soc. Chim. Fr.*, (1972)1258.

"Two chemical reactions that can be activated by the infrared radiation of a carbon dioxide laser"

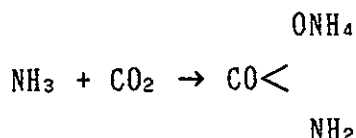
作業物質 :  $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$  または  $\text{NH}_3 + \text{NO}_2$

レーザー :  $\text{CO}_2$  レーザー

波長 :  $10.6\ \mu\text{m}$

照射条件 : 記述無し

分離過程 :  $\text{NH}_3 + \text{CO}_2$  の場合



を利用する

$\text{NH}_3 + \text{NO}_2$  の場合は記述無し。

分離係数 : 記述無し

備考 : 同位体分離に関する実験は行われていない。

(4) J.R.Mcdonaldo and A.P.Andrew: Patent US 154348(1981)

"Separating light isotopes such as nitrogen15 from naturally abundant gases like nitric oxide"

内容 : 文献未入手のため詳細は不明である。

$\text{NO}$  と  $\text{CO}_2$  の反応を利用して分離するようである。

(5) C.Schmidt:Proc.Soc.Photo-Opt.Instrum.Eng.,99(1977)271.

"Laser-induced association as a possibility for isotope separation"

内容 : 文献未入手のために詳細は不明である。

会合現象を利用して分離するようである。

(6) D.F.McLaughlin,W.H.Christiansen:Proc.Int.Conf.Lasers.,(1987)43.

" Investigation of nitrogen oxidation under condition of vibrational non-equilibrium"

内容 : 文献未入手のため詳細は不明である。

$\text{N}_2 + \text{O} \rightarrow \text{NO} + \text{N}$  の反応を利用して分離するようである。

(7) D.F.Maclaughlin:Laser-induced oxidation of nitrogen as a technique for isotope separation,(Univ.of Washington,Seattle,1981)

作業物質 :  $\text{N}_2 + \text{O}$

レーザー : CW HF化学レーザー

波長 : 不明

照射条件 : 不明

分離過程 : CW HF化学レーザーで $^{12}\text{C}^{18}\text{O}_2$ を励起し、 $\text{N}_2$ にエネルギーをポンプする。 $\text{O}_2$ はスパーク放電で生成する。

非調和振動分子間の振動-振動エネルギー移動プロセスにより、重い同位体が濃縮された反応生成物ができる。

分離係数 : 不明  
備考 : 文献未入手のため詳細は不明

5. その他の方法を用いた研究例

(1) J. Gelbwachs and T.S. Hartwick: IEEE J. Quantum. Electron., 11(1975)52.

"Radiation-pressure separation of molecules and atoms"

作業物質 : 一酸化窒素(NO)またはアンモニア(NH<sub>3</sub>)

作業物質は細長い円柱状の管に入っている。

レーザー : アンモニアの場合はマイクロウエーブ

一酸化窒素の場合は紫外光

波長 : アンモニアの場合12.6mm

一酸化窒素の場合230nm

照射条件 : 一酸化窒素の分離に関しては10W程度の光

圧力は1Torr、管の長さは1m

分離過程 : 光の運動量による放射圧で分離する。

分離係数 : 理論計算より光1Wあたりの分離係数は

アンモニアに関しては $2 \times 10^{-4}$

一酸化窒素に関しては0.3

備考 : 理論による分析のみで、実験は行っていない。

(2) A.K. Polin and P.L. Chapovskii: JETP. Lett., 38(1983)549.

"Observation of light-induced drift of ammonia molecules"

作業物質 : アンモニア(NH<sub>3</sub>)

作業物質は細長い円柱状の管に入っている。

レーザー : CW CO<sub>2</sub>レーザー

波長 : 9R(10)

照射条件 : レーザー出力は200W/cm<sup>2</sup>

作業物質の温度は室温、圧力は2.2~18.0Torr

管の長さは1.5m

分離過程 : LID効果により分離する。

分離係数 : 最高で1.98



6. 窒素15の同位体分離に応用できる研究例

- (1) J.L.Lyman and J.Jensen:Chem.Phys.Lett.,13(1972)421.  
"Laser induced dissociation of  $N_2F_4$ "  
内容 :  $N_2F_4$ の多光子解離について調べている。
- (2) P.Lavigne, J.L.Lachambre and G.Otis:Opt.Comm.,22(1977)75.  
"Photodissociation of  $N_2F_4$  by a nanosecond  $CO_2$  laser pulse"  
内容 :  $N_2F_4$ の多光子解離について調べている。
- (3) Aa.S.Sudbo, P.A.Sculz, E.R.Grant, Y.R.Shen and Y.T.Lee:  
J.Chem.Phys.,68(1978)1306.  
"Multiphoton dissociation products from halogenated hydrocarbon"  
Aa.S.Sudbo, P.A.Sculz, E.R.Grant, Y.R.Shen and Y.T.Lee:  
J.Chem.Phys.,70(1979)912.  
"Simple bond rupture reactions in multiphoton dissociation  
of molecules"  
内容 :  $N_2F_4$ の多光子解離について調べている。
- (4) J.D.Campbel, G.Hancock, J.B.Halpern and K.H.Welge:  
Chem.Phys.Lett.,44(1976)404.  
"Off resonant dissociation of  $NH_3$  to ground state Fragments  
by pulsed  $CO_2$  laser radiation"  
内容 :  $NH_3$ の多光子解離について調べている。
- (5) S.V.Filseth, J.Danon, D.Feldmann, J.D.Campbell and K.H.Welge:  
Chem.Phys.Lett.,63(1979)615.  
"Infrared multiple-photon dissociation of  $N_2H_4$  and  $CH_3NH_2$ .  
Fluence dependence of the production of  $NH_2$ "  
内容 :  $N_2H_4$ と $CH_3NH_2$ の多光子解離について調べている。
- (6) H.Reisler, F.Kong, A.M.Renlund and C.Witting:  
J.Chem.Phys.,76(1982)997.  
"The unimolecular reaction of isolated  $CF_3CN$  : Energy disposal into  
CN product degrees of freedom"

内容 :  $\text{CF}_3\text{CN}$ の多光子解離について調べている。

(7) M.L.Lesieck and W.A.Guillory: J.Chem.Phys., 66(1977)4239.

"Energy partitioning in  $\text{CN}(X)$  produced in the infrared laser induced photofragmentation of  $\text{CH}_3\text{CN}$ "

内容 :  $\text{CH}_3\text{CN}$ の多光子解離について調べている。

(8) J.L.Lyman, W.C.Danen, A.C.Nilsson and A.V.Nowak:

J.Chem.Phys., 71(1979)1206.

"Multiple-photon excitation of difluoroamino sulfur pentafluoride : A study of absorption and dissociation"

内容 :  $\text{SF}_5\text{NF}_2$ の多光子解離について調べている。

(9) N.G.Basov, E.P.Markin, A.N.Oraevskii, A.V.Pankratov and A.N.Skachkov: ZhETF Pis. Red., 14(1971)251.

"Stimulation of chemical processes by infrared laser radiation"

内容 :  $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{NO} - \text{N}_2$ ,  $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{NO} - \text{CF}_4$ ,  $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{NO} - \text{NF}_3$ ,  
 $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{NO} - \text{Xe}$ ,  $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{H}_2$ ,  $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{CH}_4$ ,  
 $\text{N}_2\text{F}_4 - \text{BCl}_3$ の系に対して $\text{CO}_2$ レーザーを照射した結果について調べている。

(10) J.C.Stephenson and M.Freund: J.Chem.Phys., 65(1976)4303.

"Infrared laser-enhanced reactions : Chemistry of  $\text{NO}(v=1)$  with  $\text{O}_3$ "

内容 : レーザーによる  $\text{NO}$  と  $\text{O}_3$  の化学反応の促進について調べている。

### 3. ま と め

可視・紫外光による光分解反応は一般に高い分離係数が得られることがわかった。特にテトラジンを色素レーザーで分解した例では、最高10000程度 of 分離係数が得られる。

炭酸ガスレーザー光+紫外光による2段階励起光分解反応では、分離係数はアンモニアを作業物質に用いた例が最高で、約9であった。

炭酸ガスレーザーによる多光子解離反応は分離係数は比較的 low、最高でも4であった。

レーザー誘起化学反応では、窒素と酸素から一酸化窒素を合成する反応を利用した例が分離係数が最大で、約600であった。

分離係数が1000を超えるものから1.1程度のものまで様々な研究例があったが、実際に分離試験計画を立てるにあたっては、分離係数の高低だけでなく、経済性も十分検討する必要がある。

参考文献

- 1) M.Benedict, T.H.Pigford, H.W.Levi: 原子力化学工学, 2 (日刊工業新聞社 1985) p84.
- 2) 理科学年表 (丸善 1992)
- 3) M.Benedict, T.H.Pigford, H.W.Levi: 原子力化学工学, 5 (日刊工業新聞社 1985) p5.