

問題用紙は、試験監督員からの開始の指示があるまで  
一切開かないでください。

## 令和元年度

甲 種 化 学

学識試験問題

A Z

試験時間 13 : 30 ~ 15 : 30

### 注 意 事 項

- (1) 配布された問題用紙の種類（左上に黒地白文字で示しています。）が受験する試験の種類に間違いがないか、また、問題用紙と受験番号札の色が合致しているかどうか、必ず確認してください。  
万一、異なる場合は、速やかに試験監督員に申し出てください。
- (2) 解答は、問題ごとの「解答用紙」に記入してください。  
別問題の「解答用紙」に解答した場合、その解答は無効となりますので、記入を間違えないように注意してください。
- (3) 常用対数表をp 7 ~ 9 に添付しました。  
計算上必要な場合は、使用してください。
- (4) 「解答用紙」は、採点の際に問題ごとに切り離しますので、すべての解答用紙に「受験番号」、「氏名」を必ず記入してください。
- (5) 試験問題に関する質問にはお答えできません。
- (6) 「問題用紙」および「解答用紙」は、試験監督員の指示に従い必ず提出してください。

甲化(学)AZ

次の各問について、特に記述のない場合、圧力は絶対圧力を示します。

---

問1 アルゴン 30 vol%、水素 70 vol% の混合気体がある。以下の問に答えよ。ただし、アルゴン、水素の分子量はそれぞれ 40.0、2.0、また比熱容量の比はそれぞれ 1.67、1.41 とし、アルゴン、水素およびその混合気体は理想気体として取り扱えるものとする。また、定圧モル熱容量  $C_{m,p}$  と定容モル熱容量  $C_{m,v}$  の間には次のマイヤーの関係が成り立つものとする。

$$C_{m,p} - C_{m,v} = R \quad \text{ここで } R \text{ は気体定数である。} \quad (15\text{点})$$

- (1) アルゴンおよび水素の混合気体中での質量分率はそれぞれいくらか。
- (2) 混合気体の定圧比熱容量  $[\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})]$  はいくらか。

問2 実在気体の性質に関する以下の問に答えよ。

(15点)

- (1) 対応状態原理が成り立っている系において、圧縮係数  $z$  を対臨界温度  $T_r$ 、対臨界圧力  $p_r$ 、対臨界モル体積  $V_r$  および臨界圧縮係数  $z_c$  を用いて表せ。
- (2) 圧力容器に、ある実在気体 30 mol を充てんしたところ温度 173 °C、圧力 22.54 MPa となった。下の一般化  $z$  線図を用いて計算した場合の容器の体積はおおよそいくらか。ただし、この気体の臨界温度は 405.4 K、臨界圧力は 11.27 MPa とする。

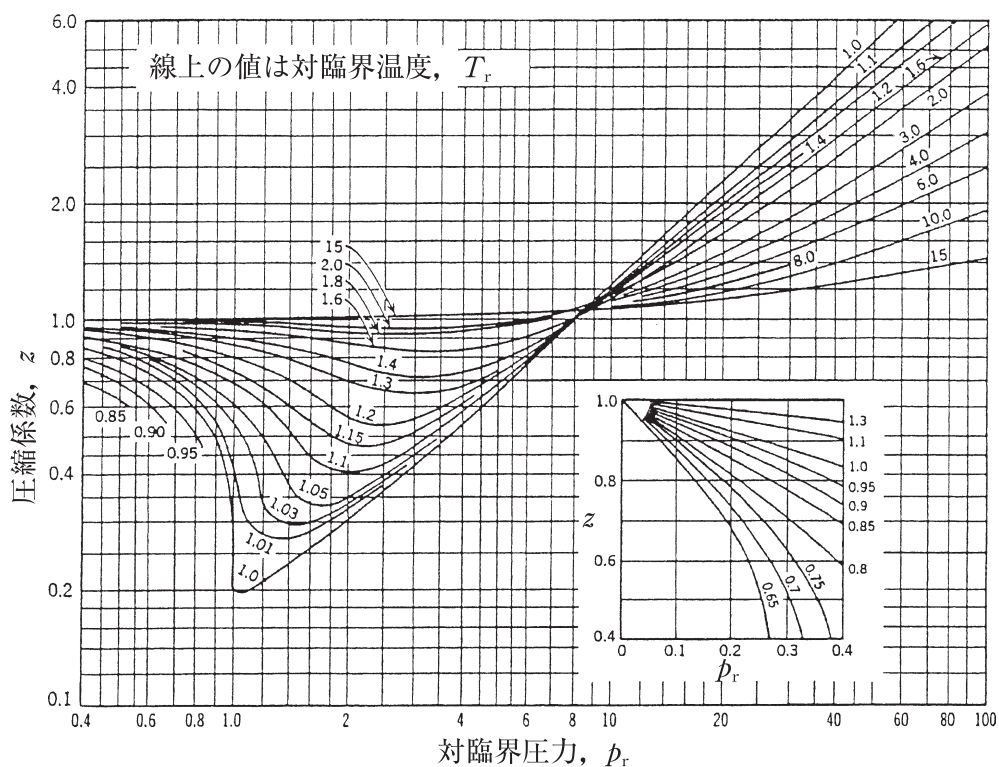


図 一般化  $z$  線図

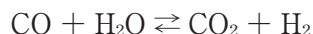
問3 化学反応において、反応のギブズエネルギー変化  $\Delta G$ 、エンタルピー変化  $\Delta H$  およびエントロピー変化  $\Delta S$  の間には以下の関係式が成り立つ。

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S$$

また、反応平衡定数  $K$  と反応のギブズエネルギー変化  $\Delta G$  の間には次の関係式が成り立つ。

$$-\Delta G/RT = \ln K$$

これらの関係式を参考にして、次のシフト反応に関する以下の問に答えよ。



ただし、シフト反応は可逆反応で、CO、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub> の標準生成エンタルピーと標準生成ギブズエネルギーはそれぞれ次の表で与えられる。 (15点)

|                             | CO     | H <sub>2</sub> O | CO <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> |
|-----------------------------|--------|------------------|-----------------|----------------|
| $\Delta H_f^\circ$ [kJ/mol] | -110.5 | -241.8           | -393.5          | 0              |
| $\Delta G_f^\circ$ [kJ/mol] | -137.2 | -228.6           | -394.4          | 0              |

- (1) シフト反応の標準状態 (298 K、101 kPa) での反応のエンタルピー変化  $\Delta H^\circ$ 、反応のギブズエネルギー変化  $\Delta G^\circ$  および反応のエントロピー変化  $\Delta S^\circ$  を求めよ。
- (2) 反応平衡定数  $K$  を CO、H<sub>2</sub>O、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub> のそれぞれの分圧  $p_{\text{CO}}$ 、 $p_{\text{H}_2\text{O}}$ 、 $p_{\text{CO}_2}$  および  $p_{\text{H}_2}$  で表せ。

また反応平衡定数  $K$  が  $K = 1$  (平衡が原料側と生成物側の中間) となる反応温度はおよそ何 K か。ただし、 $\Delta H$  および  $\Delta S$  の温度依存性は小さく、温度によらず一定と近似して良い。

- (3) 反応温度が 671 K のときの平衡定数を求めよ。ただし、 $\ln K = 2.3 \log K$  として計算せよ。
- (4) 等温、定容下でこの系に水蒸気を多量に加えるとどうなるか、その理由も説明せよ。

問4 次に示す2種の物質について、その性質・用途および工業的製造法における原料および製造プロセス（化学反応とその触媒、プロセスの特徴など）について記せ。

(20点)

| 物 質                        |   | アンモニア | 酸化エチレン |
|----------------------------|---|-------|--------|
| 性質・用途                      |   |       |        |
| 工<br>業<br>的<br>製<br>造<br>法 | 原 料                                     |       |        |
|                            | 製造プロセス<br>(化学反応とその<br>触媒、プロセス<br>の特徴など) |       |        |

**問5** 25℃、標準大気圧のエタン 50 vol%、プロパン 50 vol% からなる混合気体を調製した。以下の間に答えよ。(15点)

- (1) エタン、プロパンの燃焼熱をそれぞれ求めよ。ただし、エタン、プロパン、二酸化炭素、および水 (g) の標準生成エンタルピー  $\Delta H_f^\circ$  は、それぞれ  $-83.8 \text{ kJ/mol}$ 、 $-104.7 \text{ kJ/mol}$ 、 $-393.5 \text{ kJ/mol}$ 、および  $-241.8 \text{ kJ/mol}$  とする。
- (2) エタンの爆発下限界は 3.0 vol% である。プロパンの爆発下限界をバージェス-ホイーラー (Burgess-Wheeler) の法則を用いて推算せよ。
- (3) (2)で求めた値を用いて、この混合気体の爆発下限界を計算せよ。
- (4) 飽和炭化水素の爆発上限界についてバージェス-ホイーラーの法則が適用できない。理由について説明せよ。

問6 次の3つの用語のうちから、2つを選んで説明せよ。

(20点)

- (1) 熱力学の第一法則
- (2) 連鎖反応
- (3) 蒸気爆発

## 常用対数表の使い方

1.  $\log_b x = c$  において、 $b$  を底数、 $x$  を真数、 $c$  を対数という。
2. 次頁の常用対数表の縦は真数の小数第 1 位までの数値を、横は真数の小数第 2 位の数値を表し、表中の数値は常用対数（10 を底とする対数で、 $\log x$  と表す。）の小数を表す。

（例）真数  $x$  が 5.02 の場合、 $\log x = \log 5.02 = 0.701$  であることを表している。

（下表の網掛け部分を参照）

常用対数表（表中の数値は小数を表す）

| $x$ の小数第 1 位<br>までの数値 ↓ | → $x$ の小数第 2 位の数値 |     |     |     |     |     |
|-------------------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                         | 0                 | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |
| 1.0                     | 000               | 004 | 009 | 013 | 017 | 021 |
|                         |                   |     |     |     |     |     |
| 2.5                     | 398               | 400 | 401 | 403 | 405 | 407 |
| 2.6                     | 415               | 417 | 418 | 420 | 422 | 423 |
|                         |                   |     |     |     |     |     |
| 4.9                     | 690               | 691 | 692 | 693 | 694 | 695 |
| 5.0                     | 699               | 700 | 701 | 702 | 702 | 703 |
|                         |                   |     |     |     |     |     |
| 9.9                     | 996               | 996 | 997 | 997 | 997 | 998 |

### 対数と指数の関係

1.  $\log_b x = c$  は、 $b^c = x$  を意味する。
2. 対数表を使って  $x$  を求める計算は、次の例のとおりである。

（例） $5.02^{0.602} = x$  を求める場合、

$$\log x = 0.602 \log 5.02 = 0.602 \times 0.701 = 0.422$$

対数表より  $0.422 = \log 2.64$  であるから、 $x = 2.64$  となる。

（上表の網掛け部分を参照）

### 対数に関する公式

1. 自然対数（ $e = 2.718 \dots$  を底とする対数で、 $\ln x$  と表す。）と常用対数の関係は、  
 $\ln x = 2.30 \log x$ 、 $\log x = 0.434 \ln x$  とする。
2.  $\log xy = \log x + \log y$
3.  $\log (x/y) = \log x - \log y$
4.  $\log x^n = n \log x$

（公式の使用例）

1. 真数  $x = 500$  の場合

$$\log 500 = \log (5 \times 10^2) = \log 5 + \log 10^2 = \log 5 + 2 \log 10 = 0.699 + 2 \times 1 = 2.699$$

2. 真数  $x = 0.05$  の場合

$$\log 0.05 = \log (5 \times 10^{-2}) = \log 5 + \log 10^{-2} = \log 5 - 2 \log 10 = 0.699 - 2 \times 1 = -1.301$$



# 常用対数表 (1)

(表中の数値は小数を表す)

1.00 ~ 5.49

|     | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1.0 | 000 | 004 | 009 | 013 | 017 | 021 | 025 | 029 | 033 | 037 |
| 1.1 | 041 | 045 | 049 | 053 | 057 | 061 | 064 | 068 | 072 | 076 |
| 1.2 | 079 | 083 | 086 | 090 | 093 | 097 | 100 | 104 | 107 | 111 |
| 1.3 | 114 | 117 | 121 | 124 | 127 | 130 | 134 | 137 | 140 | 143 |
| 1.4 | 146 | 149 | 152 | 155 | 158 | 161 | 164 | 167 | 170 | 173 |
| 1.5 | 176 | 179 | 182 | 185 | 188 | 190 | 193 | 196 | 199 | 201 |
| 1.6 | 204 | 207 | 210 | 212 | 215 | 217 | 220 | 223 | 225 | 228 |
| 1.7 | 230 | 233 | 236 | 238 | 241 | 243 | 246 | 248 | 250 | 253 |
| 1.8 | 255 | 258 | 260 | 262 | 265 | 267 | 270 | 272 | 274 | 276 |
| 1.9 | 279 | 281 | 283 | 286 | 288 | 290 | 292 | 294 | 297 | 299 |
| 2.0 | 301 | 303 | 305 | 307 | 310 | 312 | 314 | 316 | 318 | 320 |
| 2.1 | 322 | 324 | 326 | 328 | 330 | 332 | 334 | 336 | 338 | 340 |
| 2.2 | 342 | 344 | 346 | 348 | 350 | 352 | 354 | 356 | 358 | 360 |
| 2.3 | 362 | 364 | 365 | 367 | 369 | 371 | 373 | 375 | 377 | 378 |
| 2.4 | 380 | 382 | 384 | 386 | 387 | 389 | 391 | 393 | 394 | 396 |
| 2.5 | 398 | 400 | 401 | 403 | 405 | 407 | 408 | 410 | 412 | 413 |
| 2.6 | 415 | 417 | 418 | 420 | 422 | 423 | 425 | 427 | 428 | 430 |
| 2.7 | 431 | 433 | 435 | 436 | 438 | 439 | 441 | 442 | 444 | 446 |
| 2.8 | 447 | 449 | 450 | 452 | 453 | 455 | 456 | 458 | 459 | 461 |
| 2.9 | 462 | 464 | 465 | 467 | 468 | 470 | 471 | 473 | 474 | 476 |
| 3.0 | 477 | 479 | 480 | 481 | 483 | 484 | 486 | 487 | 489 | 490 |
| 3.1 | 491 | 493 | 494 | 496 | 497 | 498 | 500 | 501 | 502 | 504 |
| 3.2 | 505 | 507 | 508 | 509 | 511 | 512 | 513 | 515 | 516 | 517 |
| 3.3 | 519 | 520 | 521 | 522 | 524 | 525 | 526 | 528 | 529 | 530 |
| 3.4 | 531 | 533 | 534 | 535 | 537 | 538 | 539 | 540 | 542 | 543 |
| 3.5 | 544 | 545 | 547 | 548 | 549 | 550 | 551 | 553 | 554 | 555 |
| 3.6 | 556 | 558 | 559 | 560 | 561 | 562 | 563 | 565 | 566 | 567 |
| 3.7 | 568 | 569 | 571 | 572 | 573 | 574 | 575 | 576 | 577 | 579 |
| 3.8 | 580 | 581 | 582 | 583 | 584 | 585 | 587 | 588 | 589 | 590 |
| 3.9 | 591 | 592 | 593 | 594 | 595 | 597 | 598 | 599 | 600 | 601 |
| 4.0 | 602 | 603 | 604 | 605 | 606 | 607 | 609 | 610 | 611 | 612 |
| 4.1 | 613 | 614 | 615 | 616 | 617 | 618 | 619 | 620 | 621 | 622 |
| 4.2 | 623 | 624 | 625 | 626 | 627 | 628 | 629 | 630 | 631 | 632 |
| 4.3 | 633 | 634 | 635 | 636 | 637 | 638 | 639 | 640 | 641 | 642 |
| 4.4 | 643 | 644 | 645 | 646 | 647 | 648 | 649 | 650 | 651 | 652 |
| 4.5 | 653 | 654 | 655 | 656 | 657 | 658 | 659 | 660 | 661 | 662 |
| 4.6 | 663 | 664 | 665 | 666 | 667 | 667 | 668 | 669 | 670 | 671 |
| 4.7 | 672 | 673 | 674 | 675 | 676 | 677 | 678 | 679 | 679 | 680 |
| 4.8 | 681 | 682 | 683 | 684 | 685 | 686 | 687 | 688 | 688 | 689 |
| 4.9 | 690 | 691 | 692 | 693 | 694 | 695 | 695 | 696 | 697 | 698 |
| 5.0 | 699 | 700 | 701 | 702 | 702 | 703 | 704 | 705 | 706 | 707 |
| 5.1 | 708 | 708 | 709 | 710 | 711 | 712 | 713 | 713 | 714 | 715 |
| 5.2 | 716 | 717 | 718 | 719 | 719 | 720 | 721 | 722 | 723 | 723 |
| 5.3 | 724 | 725 | 726 | 727 | 728 | 728 | 729 | 730 | 731 | 732 |
| 5.4 | 732 | 733 | 734 | 735 | 736 | 736 | 737 | 738 | 739 | 740 |

# 常用対数表 (2)

(表中の数値は小数を表す)

5.50 ~ 9.99

|     | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|
| 5.5 | 740 | 741 | 742 | 743 | 744 | 744 | 745 | 746 | 747 | 747   |
| 5.6 | 748 | 749 | 750 | 751 | 751 | 752 | 753 | 754 | 754 | 755   |
| 5.7 | 756 | 757 | 757 | 758 | 759 | 760 | 760 | 761 | 762 | 763   |
| 5.8 | 763 | 764 | 765 | 766 | 766 | 767 | 768 | 769 | 769 | 770   |
| 5.9 | 771 | 772 | 772 | 773 | 774 | 775 | 775 | 776 | 777 | 777   |
| 6.0 | 778 | 779 | 780 | 780 | 781 | 782 | 782 | 783 | 784 | 785   |
| 6.1 | 785 | 786 | 787 | 787 | 788 | 789 | 790 | 790 | 791 | 792   |
| 6.2 | 792 | 793 | 794 | 794 | 795 | 796 | 797 | 797 | 798 | 799   |
| 6.3 | 799 | 800 | 801 | 801 | 802 | 803 | 803 | 804 | 805 | 806   |
| 6.4 | 806 | 807 | 808 | 808 | 809 | 810 | 810 | 811 | 812 | 812   |
| 6.5 | 813 | 814 | 814 | 815 | 816 | 816 | 817 | 818 | 818 | 819   |
| 6.6 | 820 | 820 | 821 | 822 | 822 | 823 | 823 | 824 | 825 | 825   |
| 6.7 | 826 | 827 | 827 | 828 | 829 | 829 | 830 | 831 | 831 | 832   |
| 6.8 | 833 | 833 | 834 | 834 | 835 | 836 | 836 | 837 | 838 | 838   |
| 6.9 | 839 | 839 | 840 | 841 | 841 | 842 | 843 | 843 | 844 | 844   |
| 7.0 | 845 | 846 | 846 | 847 | 848 | 848 | 849 | 849 | 850 | 851   |
| 7.1 | 851 | 852 | 852 | 853 | 854 | 854 | 855 | 856 | 856 | 857   |
| 7.2 | 857 | 858 | 859 | 859 | 860 | 860 | 861 | 862 | 862 | 863   |
| 7.3 | 863 | 864 | 865 | 865 | 866 | 866 | 867 | 867 | 868 | 869   |
| 7.4 | 869 | 870 | 870 | 871 | 872 | 872 | 873 | 873 | 874 | 874   |
| 7.5 | 875 | 876 | 876 | 877 | 877 | 878 | 879 | 879 | 880 | 880   |
| 7.6 | 881 | 881 | 882 | 883 | 883 | 884 | 884 | 885 | 885 | 886   |
| 7.7 | 886 | 887 | 888 | 888 | 889 | 889 | 890 | 890 | 891 | 892   |
| 7.8 | 892 | 893 | 893 | 894 | 894 | 895 | 895 | 896 | 897 | 897   |
| 7.9 | 898 | 898 | 899 | 899 | 900 | 900 | 901 | 901 | 902 | 903   |
| 8.0 | 903 | 904 | 904 | 905 | 905 | 906 | 906 | 907 | 907 | 908   |
| 8.1 | 908 | 909 | 910 | 910 | 911 | 911 | 912 | 912 | 913 | 913   |
| 8.2 | 914 | 914 | 915 | 915 | 916 | 916 | 917 | 918 | 918 | 919   |
| 8.3 | 919 | 920 | 920 | 921 | 921 | 922 | 922 | 923 | 923 | 924   |
| 8.4 | 924 | 925 | 925 | 926 | 926 | 927 | 927 | 928 | 928 | 929   |
| 8.5 | 929 | 930 | 930 | 931 | 931 | 932 | 932 | 933 | 933 | 934   |
| 8.6 | 934 | 935 | 936 | 936 | 937 | 937 | 938 | 938 | 939 | 939   |
| 8.7 | 940 | 940 | 941 | 941 | 942 | 942 | 943 | 943 | 943 | 944   |
| 8.8 | 944 | 945 | 945 | 946 | 946 | 947 | 947 | 948 | 948 | 949   |
| 8.9 | 949 | 950 | 950 | 951 | 951 | 952 | 952 | 953 | 953 | 954   |
| 9.0 | 954 | 955 | 955 | 956 | 956 | 957 | 957 | 958 | 958 | 959   |
| 9.1 | 959 | 960 | 960 | 960 | 961 | 961 | 962 | 962 | 963 | 963   |
| 9.2 | 964 | 964 | 965 | 965 | 966 | 966 | 967 | 967 | 968 | 968   |
| 9.3 | 968 | 969 | 969 | 970 | 970 | 971 | 971 | 972 | 972 | 973   |
| 9.4 | 973 | 974 | 974 | 975 | 975 | 975 | 976 | 976 | 977 | 977   |
| 9.5 | 978 | 978 | 979 | 979 | 980 | 980 | 980 | 981 | 981 | 982   |
| 9.6 | 982 | 983 | 983 | 984 | 984 | 985 | 985 | 985 | 986 | 986   |
| 9.7 | 987 | 987 | 988 | 988 | 989 | 989 | 989 | 990 | 990 | 991   |
| 9.8 | 991 | 992 | 992 | 993 | 993 | 993 | 994 | 994 | 995 | 995   |
| 9.9 | 996 | 996 | 997 | 997 | 997 | 998 | 998 | 999 | 999 | 1.000 |

